

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»

Отделение школы (НОЦ) Отделение электронной инженерии

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Формирование структуры мартенситностареющей стали в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки

УДК 621.791.927.053.96:669.15

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM81	Зубков М.С.		

Руководитель


Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	Гнюсов С.Ф.	д.т.н, профессор		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук. Ю.М.	д.т.н, профессор		19.05.2020

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Т.А.	к.филол.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	к.т.н		

Томск – 2020г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код	Результат обучения
Универсальные компетенции	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии и машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия.
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя.
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документации, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
Профессиональные компетенции	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)
Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»
Профиль «Машины и технологии сварочного производства»
Отделение электронной инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП ОЭИ ИШНПТ

(Подпись) _____
(Дата) Гордынец А.С.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
1BM81	Зубкову Максиму Сергеевичу

Тема работы:

Формирование структуры мартенситностареющей стали в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	от 28.01.2020 г. №28-46/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объектом исследования являются образцы с наплавленной мартенситностареющей стали 25X12M12K10H (ЭП928) на стальную подложку из Стали 20 размерами 20х250 и толщиной 30 мм., исследования проводились после наплавки и термической обработки(старения).</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обзор литературы. 2. Постановка задачи исследования. 3. Материалы и методы исследования. 4. Результаты и обсуждение. 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 6. Социальная ответственность. 7. Заключение и выводы.
<p>Перечень графического материала</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Титульный лист (название работы), цель, задачи. 2. Литературный обзор 3. Материалы, оборудование и методы исследования. 4. Макроструктура границы раздела наплавка – основной металл и микроструктура основного металла 5. График изменения микротвердости образцов по толщине наплавки после наплавки и дополнительного старения при 560°C в течение 3 часов 6. График изменения микротвердости образцов по толщине наплавки после наплавки и дополнительного старения при 560°C в течение 5 часов 7. Экономическая часть, и социальная ответственность. 8. Заключение и выводы.
<p>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</p>	
<p>Раздел</p>	<p>Консультант</p>
<p>Основная часть магистерской диссертации</p>	<p>Гнюсов Сергей Федорович</p>
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Маланина Вероника Анатольевна</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Федорчук. Юрий Митрофанович</p>
<p>Часть магистерской диссертации на английском языке</p>	<p>Марцева Татьяна Александровна</p>
<p>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</p>	
<p>1. Материалы, оборудование и методы исследования</p>	

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	
--	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	Гнюсов Сергей Федорович	д.т.н, профессор		28.01.2020г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Зубков Максим Сергеевич		28.01.2020г

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности (ИШНКБ)

Направление подготовки (специальность) 15.04.01 «Машиностроение»

Уровень образования магистратура

Профиль «Машины и технологии сварочного производства»

Отделение электронной инженерии

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
04.02.2020	1 Литературный обзор	25
25.02.2020	2 Материалы, оборудование и методы исследования	5
29.03.2020	3 Экспериментальная часть	35
15.04.2020	4 Выводы	10
22.04.2020	5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
06.05.2020	6 Социальная ответственность	10
13.05.2020	7 Часть магистерской диссертации на английском языке	5

СОСТАВИЛ:
Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭИ	Гньюсов С.Ф.	Д.Т.Н., профессор		30.01. 2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Гордынец А.С.	К.Т.Н.		30.01. 2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1BM81	Зубкову Максиму Сергеевичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01/Машиностроение

Тема ВКР

Формирование структуры мартенситностареющей стали в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): Материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость применяемого оборудования для проведения эксперимента, заработная плата с учетом районного коэффициента, стоимость электроэнергии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30.2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерного проекта (ИП)	1.1 Потенциальные потребители результатов исследования 1.2. Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 1.3 FAST - анализ 1.4. SWOT – анализ
2. Разработка устава научно-технического проекта	2.1. Устав проекта 2.2. Организационная структура проекта
3. Составление бюджета инженерного проекта (ИП)	3.1 План проекта (календарный план НТИ) 3.2 Бюджет проекта исследования (планируемые затраты на выполнения НТИ) 3.3 Организационная структура проекта (выбор организационной структуры научного проекта)
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИП и потенциальных рисков	4.1 Оценка сравнительной эффективности исследований

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. FAST - анализ
2. Матрица SWOT
3. Оценка готовности проекта к коммерциализации
4. Инициация проекта
5. Планирование управления проектом
6. График разработки и внедрения ИП
7. Инвестиционный план. Бюджет ИП
8. Основные показатели эффективности ИП

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	к.э.н		26.02.2020 г

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Зубков М.С.		26.02.2020 г

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ВМ81	Зубкову Максиму Сергеевичу

ШКОЛА	ИШНКБ	Отделение	
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Тема дипломной работы: «Формирование структуры мартенситно-старееющей стали в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Лаборатория находится в 16-ом уч. корпусе, оборудована холодной и горячей водой, сливом, вентиляцией, вытяжным шкафом, письменным столом, оргтехникой
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения). 	<p>К числу вредных факторов на рабочем месте следует отнести наличие электромагнитных полей на рабочем месте, наличие шума. периодическое несоответствие освещенности рабочего места (при этом требуется провести расчет освещения на рабочем месте с рисунком (размеры в системе СИ)), присутствие не оптимальных метеоусловий на рабочем месте,</p> <p>К числу опасных факторов следует отнести наличие электроисточников, оборудования с повышенной температурой поверхности, присутствие механического оборудования, горючих материалов, тем самым, присутствие повышенной степени пожароопасности.</p> <p>Для всех случаев вредных и опасных факторов на рабочем месте указаны ПДУ, ПДД, допустимые диапазоны существования, в случае превышения этих значений перечислены средства коллективной и индивидуальной защиты; приведены классы электроопасности помещений, а также безопасные номиналы тока, напряжения, сопротивления заземления, и категории пожароопасности помещения, марки огнетушителей, их назначение.</p>
2. Экологическая безопасность: <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны 	Наличие отходов (металлическая стружка, абразивная пыль, черновики бумаги, отработанные картриджи принтера,)

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	потребовали разработки методов (способов) утилизации перечисленных отходов. Также требует разработки их утилизации.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия - разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно проведенному расчету.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	26.02.2020г.
---	--------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД	Федорчук Ю.М.	д.т.н.		26.02.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Зубков М.С.		26.02.2020 г.

Реферат

Выпускная квалификационная работа 142 страницы, 26 рисунков, 30 таблица, 49 использованных источника, 17 листов демонстрационного материала (слайдов), 1 приложение.

Ключевые слова: вакуумная электронно-лучевая наплавка, электронные пучки, мартенсит, мартенситностареющая сталь, старение, микроструктура, микротвердость.

Объектом исследования являются образцы с наплавленной мартенситностареющей стали 25X12M12K10H (ЭП928) на стальную подложку из Стали 20 размерами 20х250 и толщиной 30 мм., исследования проводились после наплавки и термической обработки(старения).

Целью данной работы является изучение структуры покрытия непосредственно после электронно-лучевой наплавки в вакууме и последующего старения, и ее влияние на уровень микротвердости

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- сделан анализ литературы по исследуемому вопросу и осуществлена постановка задачи исследования;
- подготовлены образцы и проведены эксперименты по наплавке с последующим старением
- построены графики распределения микротвердости;
- изучена графики микротвердости для наплавленных образцов и с последующим старением;
- проведен анализ полученных результатов и даны рекомендации по дальнейшему исследованию.

Abstract

Final qualifying work 142 pages, 34 figures, 30 table, 49 sources used, 17 sheets of demonstration material (slides), 1 supplement.

Keywords: vacuum electron beam surfacing, electron beams, martensite, martensite-aging steel, aging, microstructure, microhardness.

The object of the study is samples with deposited martensitic aging steel 25X12M12K10N (EP928) on a steel substrate made of Steel 20 with dimensions 20h250 and a thickness of 30 mm. the research was conducted after surfacing and heat treatment(aging).

The purpose of this work is to study the structure of the coating immediately after electron-beam surfacing in vacuum and subsequent aging, and its effect on the level of microhardness

To achieve this goal, the following tasks were completed:

- the literature analysis on the issue under study is made and the research task is set;
- samples were prepared and experiments were conducted on surfacing with subsequent aging
- graphs of microhardness distribution are constructed;
- studied graphs of the microhardness for the deposited samples and with the subsequent aging;
- the results were analyzed and recommendations for further research were given.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе применены следующие термины с соответствующими определениями.

Аустенит – твёрдый раствор углерода в гранецентрированной кубической решётке железа.

Феррит – твёрдый раствор углерода объёмноцентрированной кубической решётке железа.

Мартенсит – мелкодисперсная структура пластинчатого строения, получающаяся путём кооперативного перемещения атомов на расстояние меньше межатомного.

В настоящей работе применены следующие обозначения и сокращения:

- ГЦК – гранецентрированная кубическая решётка;
- MIG – сварка, при которой в качестве изолирующей среды выступает инертный газ, такой как гелий или аргон
- MAG – вид сварки с использованием активного газа (азота, углекислого газа и т.п)
- ЭЛН – электронно-лучевая наплавка
- КПЭ – концентрированные потоки энергии;
- МАС – метастабильные аустенитные стали;
- ЗТВ – зона теплового влияния;
- СЭП – сильноточный электронный пучок.

Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ Р 1.5-2012 Стандартизация в Российской Федерации Стандарты национальные. Правила построения, изложения, оформления и обозначения;
- ГОСТ 7.32-2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления;
- СТП ТПУ 2.5.01-2014 Система образовательных стандартов. Работы выпускные квалификационные, проекты и работы курсовые. Структура и правила оформления;
- ГОСТ 12.1.003-83 – Шум. Общие требования безопасности;
- СНиП 23-03-2003 – Защита от шума;
- ОСП-72/87 – Основные санитарные правила работы с радиоактивными веществами и другими источниками ионизирующих излучений;
- ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
- ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».
- СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.
- ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.
- СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

Оглавление	
Введение.....	18
1 Обзор литературы	20
1.1 Мартенситные стали	20
1.2 Мартенситностареющие стали	25
1.3 Мартенситные стали их особенности.....	26
1.4 Сварка мартенситных сталей	34
1.5 Существующие аддитивные технологии	39
1.6 Вакуумная электронно-лучевая наплавка.....	42
1.7 Оборудование для электронно-лучевой наплавки.....	44
1.8 Концентрированные потоки энергии (КПЭ)	48
1.9 Постановка задачи.....	50
2 Материалы, оборудование и методы исследования	53
2.1 Технологическое оборудование для нанесения покрытий.....	53
2.2 Применяемые наплавочные материалы	55
2.3 Структурно-фазовый анализ исследуемых покрытий	56
2.4 Измерение микротвердости	58
3 Результаты и обсуждение.....	59
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	65
4.1 Предпроектный анализ.....	65
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	65
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	66
4.2 Fast – анализ	67
4.2.1 Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.....	67
4.2.2 Определение значимости выполняемых функций объектом	69
4.2.3 Определение значимости функций	73
4.2.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования ..	74
4.2.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ	76

4.2.6	Оптимизация функций, выполняемых объектом	76
4.3	SWOT – анализ.....	77
4.4	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	79
4.5	Методы коммерциализации результатов научно технического исследования	82
4.6	Инициация проекта.....	82
4.7	Планирование управления проектом.....	85
4.7.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	85
4.7.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	86
4.7.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	88
4.8	Бюджет научного исследования. Затраты на материалы и эксперименты	92
4.9	Расчет фонда заработной платы	93
4.9	Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования 97	
4.9.1	Оценка сравнительной эффективности проекта.....	97
5	Социальная ответственность	101
5.1	Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды.....	102
5.1.1	Электромагнитные поля в производственных помещениях;	102
5.1.2	Производственный шум	104
5.1.3	Освещенность рабочей зоны.....	105
5.1.4	Микроклимат в помещении	109
5.2	Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды.....	111
5.2.1	Факторы электрической природы	111
5.2.2	Факторы пожарной и взрывной природы.....	116
5.3	Охрана окружающей среды	119
5.4	Защита в ЧС	120
5.5	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	121
	Заключение	124
	Список литературы	126

Приложение А	131
--------------------	-----

Введение

На сегодняшний день огромная роль отводится упрочнению поверхности механизмов и машин, поскольку примерно 50% выхода из строя данных несущих нагрузку деталей отводится износу.

В настоящее время в качестве наплавочного материала используются композиционные материалы с высокой исходной твердостью, которые подвергаются после нанесения из них покрытий только шлифованию. Однако ряд деталей после наплавки требует механической и последующей термической обработки. Это возможно осуществить, когда покрытие после наплавки имеет средний уровень твердости и, следовательно, его можно механически обрабатывать.

Исходя из данных требований наиболее перспективными являются покрытия на основе мартенситностареющих сталей со средним уровнем твердости после наплавки ~4 ГПа, а после старения ~6 ГПа. Эти покрытия кроме того, являются одними из наиболее перспективных материалов для создания современных высокопрочных, коррозионностойких изделий, работающих в условиях повышенных и сверхнизких температур, при высоких давлениях, благодаря специфическому механизму упрочнения, высокой прочности и технологичности таких материалов.

Целью данной работы является изучение структуры покрытия непосредственно после электронно-лучевой наплавки в вакууме и последующего старения, и ее влияние на уровень микротвердости.

Для достижения заданной цели в работе необходимо решить следующие задачи.

1. Подготовить наплавочную смесь порошков.
2. Осуществить электронно – лучевую наплавку подготовленной смеси порошков на основной металл (Сталь 20).
3. Провести термическую обработку (старение) части наплавленных образцов.

4. Сделать анализ микроструктуры полученных покрытий.
5. Провести замеры микротвердости по толщине наплавов.
6. На основании полученных результатов дать рекомендации по технологическим параметрам получения подобных покрытий.

1 Обзор литературы

1.1 Мартенситные стали

Мартенситные стали относятся к классу высокопрочных сталей, характеризующихся очень низким содержанием углерода и использованием замещающих элементов для получения возрастного упрочнения в железоникелевых мартенситах. Отсутствие углерода в сплавах придает значительно лучшую твердость вязкость и свариваемость по сравнению с обычными высокопрочными сталями.

Мартенситные стали обладают удивительно высокими механическими свойствами. На эти механические свойства влияют несколько твердотельных реакций, протекающих в сплаве во время термообработки. При промежуточной температуре старения в мартенситной решетке происходит равномерное осаждение мелких интерметаллических фаз, что обуславливает превосходные механические свойства. Наиболее важными из этих фаз являются Ni_3Ti и Ni_3Mo (1,2). Эти осадки получают в аустенитных сталях закалкой от температуры раствора 1100-1200 °C и выдержкой в диапазоне 480-650 °C. [1]

Под мартенситом понимают игольчатую микроструктуру, которая фиксируется в отдельных чистых металлах, имеющих склонность к полиморфизму, и металлических сплавах, прошедших процедуру закалки. По сути, мартенсит – это базовый структурный компонент стали после закалки, который является твердым пересыщенным упорядоченным раствором углерода в α -железе. Впервые он был описан Марком Мартенсом – известным специалистом в области проблем, связанных с усталостью различных металлических материалов. Именно в его честь и был назван мартенсит.

Кристаллическая решетка интересующего нас углеродного раствора в α -железе является тетрагональной. Каждая из ее элементарных составляющих описывается формой параллелепипеда (прямоугольного). Атомы железа размещаются на вершинах и центре ячейки, а атомы углерода располагаются в её объемах. Любая мартенситная нержавеющая сталь описывается большими

показателями твердости и высокими прочностными характеристиками, что характерно для структур мартенсита, характеризующейся значительными внутренними напряжениями.

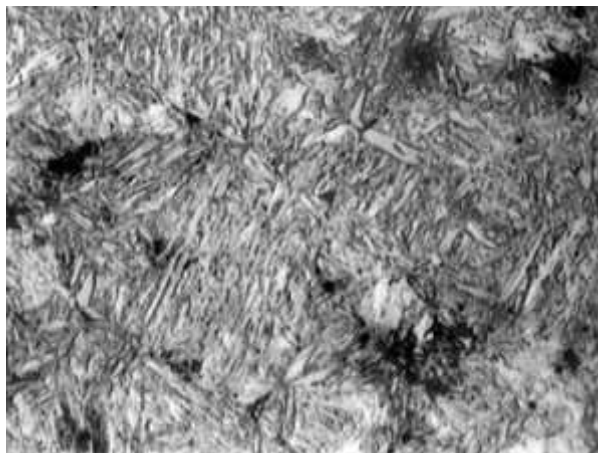


Рисунок 1.1 – Структура мартенситной стали

При нагреве мартенситного металла отмечается перераспределение (диффузионное) атомов углерода, что приводит к формированию двух фаз:

- цементита (в этой фазе углерод содержится в количестве 6,67 %);
- феррита (содержание углерода в ней – не более 0,02 %).

Элементарная ячейка первой из означенных фаз описывается ромбической структурой, вторая – объемно-центрированной. Решетка начальной структуры аустенита связана кристаллографическими постоянными соотношениями с решеткой мартенсита. Это означает, что плоскости с четко заданными кристаллографическими индексами аустенитной и мартенситной структуры параллельны друг другу.



Рисунок 1.2. - Кристаллическая структура мартенситной стали

Принято выделять два типа мартенсита:

1. Дислокационный (нередко его называют реечным). Он формируется в средне- и малоуглеродистых, а также высоколегированных сталях. В них мартенситное преобразование начинается при температуре более 300 °С. Кристаллы мартенсита в такой ситуации вытянуты в одну сторону, представляя собой рейки толщиной от 0,2 до 2 мкм. Такие рейки разделяются тонкими (от 10 до 20 нм) слоями аустенита.

2. Двойниковый (или пластинчатый). Данный тип характерен для легированных и углеродистых сталей (преобразование мартенсита в них возможно при температуре менее 200°). Пластины интересующей нас игольчатой микроструктуры описываются мидрибом – средней линией высокой травимости. Каждый мидриб при этом включает в себя множество двойников по плоскостям.

Что представляет собой мартенситное превращение в стали?

Такой полиморфный процесс предполагает то, что упорядоченное передвижение молекул либо атомов в составе кристалла вызывает модификацию их расположения по отношению друг к другу. Причем межуатомные расстояния в данном случае существенно больше, нежели показатели смещений относительного плана соседних атомов.

Деформации ячеек кристаллической решетки – это и есть ее перестройка, за счет чего окончание мартенситного преобразования вполне допускается описывать как однородно измененную начальную фазу. Отметим отдельно и то, что деформация имеет малую величину (не более 10 %). По этой причине энергетический барьер, который не дает развиваться однородному переходу начальной фазы в конечную, также невелик, если соотносить его с энергией связи в кристалле.

Описываемое нами превращение становится возможным только в том случае, когда постоянно присутствует упорядоченное взаимодействие между метастабильной и стабильной фазой. Повышенная подвижность и низкий

энергетический потенциал межфазных границ обусловлены их упорядоченным строением.

Следствием этого становится то, что требуемая для появления кристаллов в новой фазе "лишняя" энергия, имеет малое значение. Ее вполне можно сопоставить с энергией "исходных" дефектов, имеющихся в начальной фазе. За счет такой особенности скорость образования мартенситных кристаллов является по-настоящему большой, причем, как правило, тепловых изменений для зарождения новых кристаллов не требуется.

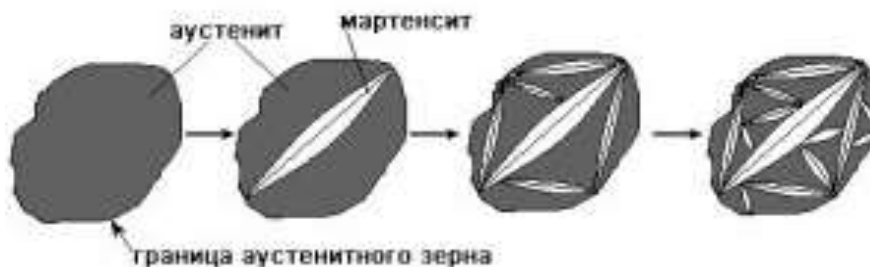


Рисунок 1.3 - Образование кристаллов мартенсита в зерне аустенита

Мартенситные преобразования в комбинации с модификациями атомного порядка компонентов и их перераспределения являются базой для разнообразных структурных превращений, которые дают возможность изменять характеристики кристаллических материалов посредством их механической либо термической обработки.

Мартенситные стали – описание, особенности

Такие хромистые стали имеют в своем составе достаточно высокое содержание углерода. Кроме того, зачастую они легируются молибденом, ниобием, вольфрамом и иными компонентами, которые обеспечивают высокие жаропрочные показатели конечного металла.

Особенности сталей, относимых к мартенситному классу:

- высокий уровень противодействия коррозии в растворах щелочей, некоторых кислотных растворах, в условиях повышенной влажности;

- высокая жаропрочность: данную полезную способность мартенситный металл получает в том случае, когда выполняется его закалка при температурах около 1050 градусов, а затем и отпуск на троостит либо сорбит;
- способность к самозакаливанию;
- малая пластичность при высоком показателе твердости, на которую не оказывают никакого влияния, дополнительно вводимые в сплав легирующие элементы;
- высокая водородоустойчивость, свойственная таким маркам стали, как X5ВФ, X5М, X9М;
- сложность обработки мартенситного металла резанием

Популярные марки мартенситных стальных сплавов:

- 20Х13: в нем содержится от 12 до 14 % хрома, менее 0,8 % марганца и кремния, от 0,16 до 0,25 % углерода, такая сталь не легируется никелем;
- 10Х12НДЛ: особенность – большое содержание никеля (от 1 до 1,5 %);
- 18Х11МНФБ: не более 11,5 % хрома, от 0,5 до 1 % никеля, до 0,21 % углерода, от 0,8 до 1,1 % молибдена;
- 12Х11В2МФ, 10Х9МФБ, 13Х11Н2В2МФ, 15Х11МФ: легируются ванадием (от 0,18 до 0,4 %) и молибденом (от 0,35 до 1,1 %) в дополнение к стандартным добавкам.

Используются описываемые стали для производства:

- роторов и корпусов газовых и паровых турбин;
- сварных аппаратов и сосудов с нагрузками не более 16Мпа;
- диафрагм турбин (паровых);
- составляющих насосного оборудования;
- лопаток турбин, работающих на пару;
- пружин;
- подвергающихся нагреву поверхностей коллекторов, котлов, трубопроводов;
- хирургического, измерительно и режущего инструмента;

- пластин компрессоров с клапанами.

Технология сварки сталей описываемого класса достаточно сложна, что вызвано склонностью таких металлов после процедуры закалки к хрупкому разрушению. Их следует сваривать после предварительного нагрева до 200–450 °С, причем температура окружающего воздуха должна быть плюсовой. Как правило, металлы мартенситной группы свариваются методом ручной дуговой сварки с применением электродов, покрытых спец составами. Реже используются другие виды сварки [1]:

- электрошлаковая;
- аргонодуговая;
- под флюсом.

1.2 Мартенситностареющие стали

Что касается мартенситно-стареющих сталей, то можно сказать что он во всем отличается от других классов высоколегированных, не углеродистых (с процентным содержанием С больше либо равным 0,03%) и почти высокопрочных сталей. За счет выделения интерметаллоидных фаз в мартенсите, при термообработке, происходит его упрочнение

Когда кобальт вводится в мартенситно-стареющую сталь благодаря эффекту близкого упорядочения атомов кобальта и железа, матрицы α -железа упрочняются, а растворимость других легирующих элементов в этой матрице снижается.

Для большинства сталей из класса мартенсита температура закалки находится в пределах 800 до 860 °С и в этом состоянии высокие показатели прочности и пластичности преобладают в мартенсите. Непосредственно после закалки можно провести термообработку (старение) при температуре 480 – 520°С в течении 2 – 3 часов и при этом можно получить высокие показатели прочности данных сталей.

Мартенситные стали это тот тип стали, в которых преобладает содержание никеля и хрома, обладает высоким сопротивлением агрессивным средам, а высокой прокаливаемостью и отличной свариваемостью. В отличии от других сталей данный класс сталей благодаря своему высокому индексу прочности не подвержен изменению форм и размеров от начального в процессе термической обработки.

О мартенситно-старееющих сталях начали говорить с 1987 г. Так что можно считать, что в сравнении с остальными сталями это достаточно «молодой» класс сталей. Поиски новых способов обработки мартенситных сталей ведаться до сих пор несмотря на то что с момента их открытия прошло около 33 лет. [2]

1.3 Мартенситные стали их особенности

Как мы уже поняли на основе обзора выше, структура мартенсита по своей сути является неравномерной в ней наблюдаются сильные внутренние напряжения и из-за этого мартенситные стали отличаются высокой прочностью и твердостью. В данных сталях присутствует явление диффузионного характера – когда при нагреве мартенситных сталей атомы углерода перераспределяются в процессе. Результатом такого распределения является образование нескольких фаз, которые различны как содержанием углерода структуре, так и формой кристаллической решётки. Образованная в закаленной структуре металла мартенсита кристаллическая решетка представляет собой тетрагональную форму, а элементы представляют параллелепипед. Вершина и центральная, часть таких ячеек занята атомами железа, а внутреннее пространств

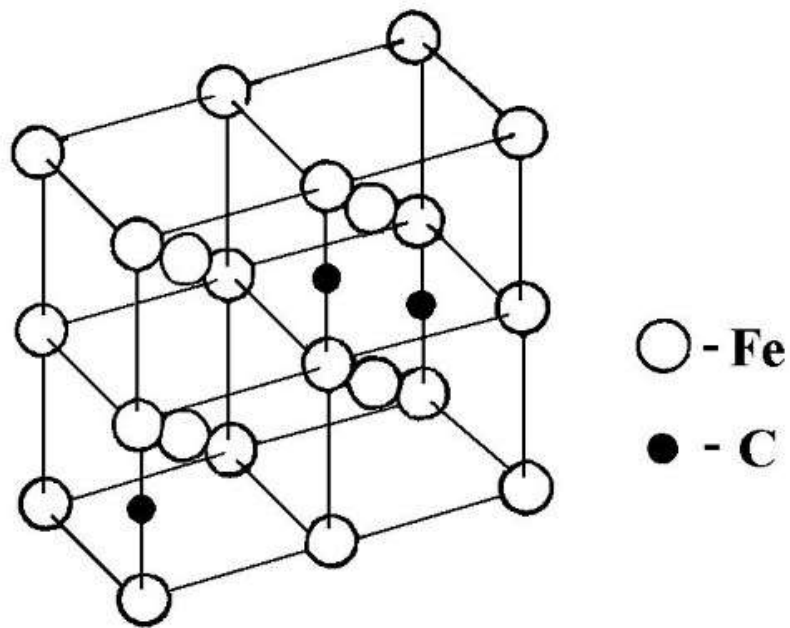


Рисунок 1.4 - Кристаллическая решетка мартенсита

Класс мартенситной стали характеризуется следующими фазами в процессе нагрева:

- феррит, который содержит очень небольшое количество углерода - до 0,02% ();
- цементит, в котором содержание углерода значительно выше - до 6,67%. Для образования мартенсита начальной структурой является аустенит.

Присутствующие образования в микроструктуре кристаллической решетки стали, связаны ориентационными соотношениями. Сущность данной связи состоит в том, что плоскости решетки (аустенита и мартенсита) параллельны друг другу.

Существует две формы мартенсита, которые формируют микроструктуру сталей

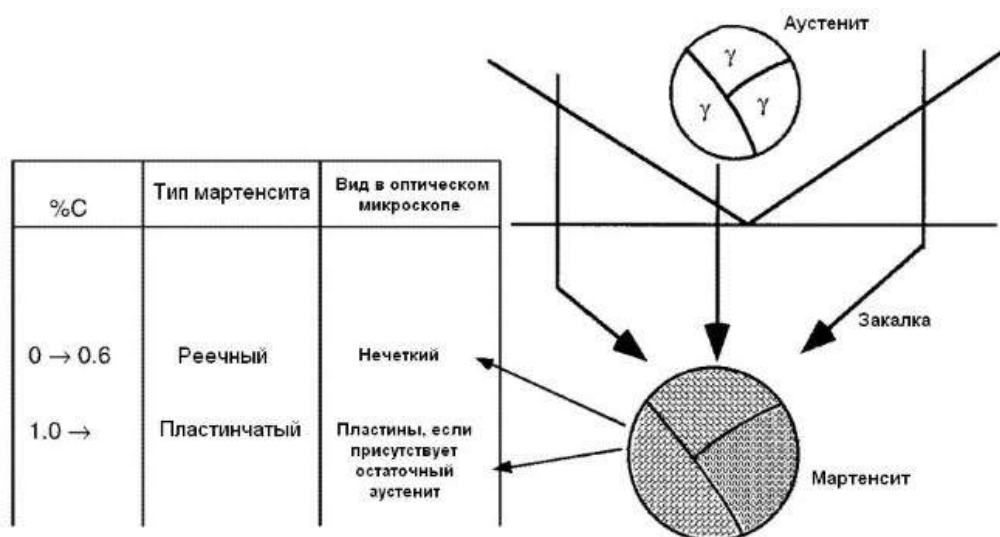


Рисунок 1.5 - Различные типы мартенсита, образующиеся при закалке аустенита. Пластинчатый (двойниковый) мартенсит

Температура формирования, этой структуры не выше 2000°C , что присуще для легированных и углеродистых сталей

Мартенсит, находящийся в структуре в виде пластин, определяется наличием на таких пластинах мидриба – средней линии, определяющей повышенную травимостью. Мидриб на каждой такой пластине образует множество «двойников» они располагаются по плоскостям мартенсита и имеют толщину 5–30 нм., поэтому его называют двойниковым

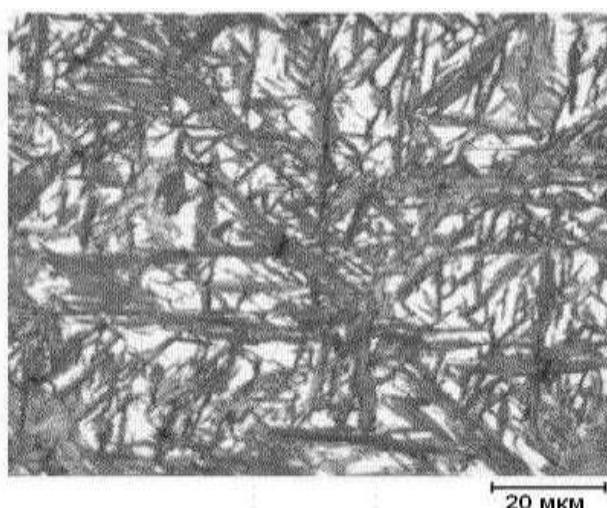


Рисунок 1.6 - Оптическая микрофотография мартенсита пластинчатой структуры.

Образование реечного или дислокационного мартенсита присуще высоколегированной средне – и малоуглеродистой структуре этих сталей. Формирование структуры мартенсита происходит при температуре не менее 3000 °С. Мартенсит этого типа, имеет форму вытянутых реек (полос), , толщина каждого из которых находится в диапазоне 0,2–2 мкм (при этом их длина примерно в 5 раз больше ширины), структура металла, образованного из этого типа мартенсита, представлена в виде комбинации групп (пакетов) таких параллельных кристаллов-стержней. В этой структуре также можно увидеть слои между рельсами мартенсита, состоящие из остаточного аустенита. Толщина таких слоев в разных типах сплавов может составлять от 10 до 20 нм.

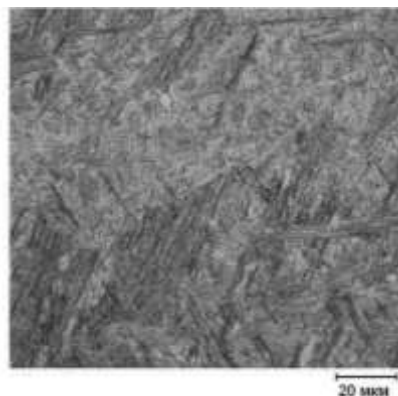


Рисунок 1.7 - Оптическая микрофотография мартенсита реечной структуры

Иногда в сталях может быть сформирован мартенсит обоих типов это происходит при явных условиях к примеру, когда интервал температур начала и конца превращения довольно большой. Для формирования реечной структуры, когда снижается прочность аустенита, нужна высокая температура, а при реечной, когда формируется мартенсит пластинчатого типа, нужно понижать температуру.

Существует определенная категория низкоуглеродистых сталей, в которых практически отсутствует остаточный аустенит, а образованный мартенсит имеет только форму рейки. Температура, при которой в таких сталях наблюдаются мартенситные превращения, составляет около 4000 °С.

При достижении определенного температурного промежутка наблюдается явление –мартенситного превращения. Верхний предел этого интервала соответствует температуре, которая на несколько сотен меньше температуры начала аустенитного распада. При температуре намного ниже комнатной данный процесс заканчивается. Благодаря тому, что в структуре металла присутствует остаточный аустенит и с помощью его выполняются условия формирования мартенсита

Для увеличения в структуре стали мартенсита, может быть осуществлена пластическая деформация, которая в свою очередь обязательно осуществляется при температуре, необходимой для превращения аустенита в мартенсит.



Рисунок 1.8 - Схема изменений мартенсита в процессе нагрева

Рассматриваемое образование в стальной структуре может принимать форму, называемую мартенситом отпуска. Условиями его формирования являются нагревание сплава до температуры, которая ниже температуры превращения феррита в аустенит. Характерной особенностью процесса отпуска, в котором образуется мартенсит, является то, что мартенсит, имеющий форму иглы или пластины, превращается в карбидные включения сферической конфигурации.

Суть преобразования исходной структуры сплава в мартенситную состоит в том, что молекулы в кристаллах такого сплава начинают упорядоченно

двигаться, меняя свое положение относительно друг друга и, соответственно, образуя кристаллические решетки новой конфигурации.

При этом происходит деформации ячеек кристаллической решётки, которая в свою очередь приводит к образованию новой структуры сплава

Для некоторого мартенситного превращения структуры требуется достаточно малое количество энергии, это превращение, при котором происходит видоизменение кристаллической решетки ячеек вместо её разрушения. Но при этом данные изменения происходят с огромной скоростью.

Сталь с мартенситной структурой, помимо высокого содержания углерода, также характеризуется наличием хрома в составе. Такие стали часто легируются элементами, которые могут обеспечить высокую термостойкость металла (вольфрам, молибден, ниобий и др.).

Таблица 1.1 - Химический состав хромистых мартенситных сталей

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	S	P	прочих элементов
15X5		≤0,5	≤0,5	4,5...6,0	≤0,6	0,45...0,60	-	≤0,025	≤0,030	He
15X5М	≤0,15	0,3 ..0,6					0,4...0,6			регламентируется
15X5ВФ			0,3 ..0,6							
12X8	≤0,12	0,17 ..0,37	0,3 ..0,6	7,5...9,0	≤0,4	-	-	≤0,030	≤0,035	
20X8ВЛ	0,15 ..0,25	0,30 ..0,60	0,30...0,50		-	-	-	≤0,035	0,040	1,25 .. 1,75 W
12X8ВФ	0,08 ..0,15	≤0,6	≤0,5	7,0...8,5	≤0,6	-	0,3 ..0,5	≤0,025		0,6 .. 1,0W
10X9МФБ	0,08 ..0,12		0,3 ..0,6	8,6...10,0	≤0,7	0,6 ..0,8	0,15 ..0,25	≤0,015	≤0,030	He
12X11В2МФ	0,10 ..0,15	≤0,5	0,50 ..0,80	10,0...12,0	≤0,6	0,6 ..0,9	0,15 ..0,30		≤0,025	1,70...2,20 W
15X11МФ	0,12 ..0,19		≤0,7	10,0...11,5	-	0,6 ..0,8	0,25 ..0,40			He
18X11МНФБ	0,15 ..0,21	≤0,60	0,6... 1,0	11,5 .. 1,0	0,5 .. 1,0	0,8 .. 1,1	0,20...0,40	≤0,025	≤0,030	0,20...0,45 Nb
13X 11 H2B2МФ	0,10. .0,16		≤0,60	10,0...12,0	1,5 .. 1,8	0,35 ..0,50	0,18 ..0,30			1,6 ..2,0W
10X12НДЛ	≤0,10	0,17...0,40	0,20...0,60	12,0...13,0	1,0 .. 1,5			≤0,25	≤0,25	0,80.. 1,10 Cu
06X12НЗД	≤0,06	≤0,3	≤0,60	12,0...13,5	2,8 ..3,2	-	-	≤0,025	≤0,025	
20X13	0,16...0,25	≤0,8	≤0,8	12,0...14,0	-			≤0,025	≤0,030	He
										регламентируется

Отличительной характеристики сплавов который в связи особенности своей структуры образуют мартенсит является следующее:

- высокая коррозионная стойкость к повышенной влажности, щелочным и кислотным средам;
- высокая термостойкость (если сплавы этой категории закаливаются при температуре 10500, а затем выделяются в троостит или сорбит);
- полезная характеристика, такая как самоотверждение;
- высокая твердость при довольно низкой пластичности (что типично, мартенситная твердость, которой изначально обладают такие сплавы, практически не зависит от легирующих элементов, вводимых в их состав);
- повышенная стойкость к воздействию водорода (это отличается для некоторых марок таких сталей, в частности X5M, X5ВФ и X9M);
- устойчив к обработке резанием благодаря высокой твердости.

Таблица 1.2 - Механические свойства мартенситных сталей

Марка стали	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Примеры использования
15X5	392	216	24	50	98	Сварные сосуды и аппараты с давлением до 16 МПа при температуре стенки $\geq -70^{\circ}\text{C}$
15X5М			22		118	
15X5ВФ					-	
12X8			-			
12X8ВФ		167	50	170		
20X8ВЛ	580	392	16	30	39	Поверхность нагрева котлов, коллектора, трубопроводы
10X9МФБ	600	400	20	70	80	
15X11МФ	600	490	15	55	60	Корпуса и роторы паровых и газовых турбин, лопатки паровых турбин, диафрагмы
18X11МНФБ	740	590		50		
13X11Н2В2МФ	880	735		55		
12X11В2МФ	850	700		50		
10X12НДЛ	700	500	14	30	50	Диафрагмы паровых турбин, детали гидротурбин
06X12НЗД						Рабочие колеса гидротурбин, корпуса насосов АЭС
20X13	650	440	16	55	80	Лопатки паровых турбин, детали насосов

Поскольку сталь с мартенситной структурой становится очень хрупкой и склонной к разрушению после закалки, технология сварки становится намного более сложной. Весь процесс сварки можно выполнить только после того, как

изделие из мартенсита нагревают до 200-450⁰С, и особенно важно соблюдение температуры окружающей среды, так как она не должна быть ниже нуля. Сварка мартенситных сталей проводится не только с использованием ручной дуговой сварки, покрытым электродом, но также применяют следующие технологии:

- сварку под защитным слоем флюса.
- сварку в среде аргона;
- электрошлаковую сварку

Таблица 1.3 - Рекомендуемые режимы сварки мартенситных сталей

Марка стали	Температура подогрева, °С	Продолжительность хранения до термической обработки, ч	Термическая обработка
15Х5, 15Х5МУ, 15Х5ВФ	200	не допускается	Отпуск при 700... 750 °С
12Х8, 12Х8ВФ, 20Х8ВЛ, 10Х9МФБ	Не регламентируются		Отпуск при 710... 760 °С
12Х11В2МФ	250...300	72	Отпуск при 700...720°С (предварительный) и 735...365°С (окончательный)
15Х11МФ, 18Х11МНФБ, 13Х11Н2В2МФ	300	не допускается	Отпуск при 700...720 ос (без охлаждения ниже температуры подогрева). При толщине >30 мм перед термообработкой рекомендуется подстуживание до 100 ос
10Х12НДЛ	≥100		Отпуск при 650°С (с предварительным подстуживанием)
06Х12НЗД	≥200	Допускается	Отпуск при 610...630°С (предварительный) и 625 ...650°С (окончательный)
20Х13	≥300	2	Отпуск при 700... 720°

Говоря о областях применения стали, то мартенситная группа используется для производства разнообразного рода изделий, как:

- корпуса и роторы для газовых и паровых турбин;
- детали сварочных аппаратов, сосудов различного назначения, работающих под давлением не более 16 МПа;
- диафрагмы для оснащения паровых турбин;
- лопасти, которые оснащены паровыми турбинами;

- пружины различного назначения;
- плиты, которые оснащены компрессорами. [3]
- а также многое другое

1.4 Сварка мартенситных сталей

Технология сварки мартенситностареющих сталей усложняется из-за повышенной склонности к хрупкому разрушению в состоянии закалки. В виду того что содержание углерода в мартенситных сталях больше 10% они имеют свойство образовывать холодные трещины, что влияет на получения хороших сварных соединений. Данной особенности можно избежать путем снижения углерода мартенситной стали, но за счет повышения вязкости увеличится и хрупкость стали, это происходит из-за свободного феррита, образующегося в структуре стали и это уже не исправить. Данный тип трещин будет проявляться в процессе охлаждения.

Как мы уже говорили выше с увеличением содержания углерода происходит охрупчивание стали, зная это для мартенситных сталей содержание углерода ограничено и в основном не более 0,2%.

Чтобы обеспечить хорошее сварное соединение с мартенситной сталью нужно не допустить образование холодных трещин, для этого нужно обеспечить процесс сварки при температуре окружающей среды больше или равным 0°C, также необходимо осуществлять сварку с подогревом (предварительным и сопутствующим) при температуре в зависимости от склонности стали к закалке примерно от 200 – 450 °C. Так же необходимо строго соблюдать температуру подогрева, так как если температура будет слишком большой, то появится отпускная хрупкость в около шовной зоне металла - это происходит из-за роста зерен на ОШЗ, сегрегации примесей на границах зерен. При температуре подогрева T больше либо равной 100°C достигаются наилучшие свойства [9].

Таблица 1.4 - Хромистые мартенситные стали: химический состав [9].

Марка стали	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	S	P	Прочих элементов
15X5	≤0,15	≤0,5	≤0,5	4,5...6,0	≤0,6	-	-	≤0,025	≤0,030	Не регламентируется
15X5М						0,45...0,60	-			
15X5ВФ		0,3 ..0,6				-	0,4...0,6			
12X8	≤0,12	0,17 ..0,37	0,3 ..0,6	7,5...9,0	≤0,4	-	-	≤0,030	≤0,035	1,25 .. 1,75 W
20X8ВЛ	0,15 ..0,25	0,30 ..0,60	0,30. ..0,50		-	-	-	≤0,035	0,040	
12X8ВФ	0,08 ..0,15	≤0,6	≤0,5	7,0...8,5	≤0,6	-	0,3 ..0,5	≤0,025	≤0,030	0,6 .. 1,0W
10X9МФБ	0,08 ..0,12	≤0,5	0,3 ..0,6	8,6... 10,0	≤0,7	0,6 ..0,8	0,15 ..0,25	≤0,015		Не регламентируется
12X11В2МФ	0,10 ..0,15		0,50 ..0,80	10,0... 12,0	≤0,6	0,6 ..0,9	0,15 ..0,30	≤0,025	≤0,025	1,70...2,20 W
15X11МФ	0,12 ..0,19		≤0,7	10,0... 11,5	-	0,6 ..0,8	0,25 ..0,40		≤0,030	Не регламентируется
18X11МНФБ	0,15 ..0,21	≤0,60	0,6... 1,0	10,0. .12,0	0,5 .. 1,0	0,8 .. 1,1	0,20. .0,40			0,20...0,45 Nb
13X11Н2В2МФ	0,10. .0,16		≤0,60		1,5 .. 1,8	0,35 ..0,50	0,18 ..0,30			1,6 ..2,0W
10X12НДЛ	≤0,10	0,17...0,40	0,20...0,60	12,0. .13,0	1,0 .. 1,5	-	-	≤0,25	≤0,25	0,80.. 1,10 Cu
06X12НЗД	≤0,06	≤0,3	≤0,60	12,0. .13,5	2,8 ..3,2			≤0,025	≤0,025	

Таблица 1.5 - Мартенситные стали: механические свойства. [9]

Марка стали	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	Примеры использования
15X11МФ	600	490	15	55	60	Корпуса и роторы паровых и газовых турбин, лопатки паровых турбин, диафрагмы
18X11МНФБ	740	590		50		
13X11Н2В2МФ	880	735		55	90	
12X11В2МФ	850	700		50		
10X12НДЛ	700	500	14	30	50	Диафрагмы паровых турбин, детали гидротурбин
06X12НЗД						Рабочие колеса гидротурбин, корпуса насосов АЭС
20X13	650	440	16	55	80	Лопатки паровых турбин, детали насосов

Сварные соединения из данной таблицы рекомендуется не подвергать какой либо нагрузке до процесса термической обработки (таблица 1.6). В частности, термообработку сварных стыков труб при сооружении трубопроводов нужно выполнять до холодного натяга трубопровода, т.е. до сборки и сварки замыкающего сварного шва.

Таблица 1.6 - Рекомендации по тепловому режиму сварки хромистых мартенситных сталей. [9]

Марка стали	Температура подогрева, °С	Продолжительность хранения до термической обработки, ч	Термическая обработка
12X11В2МФ	250...300	72	Отпуск при 700...720°С (предварительный) и 735...365°С (окончательный)

Продолжение таблицы 1.6

15X11МФ, 18X11МНФБ, 13X11Н2В2МФ	300	не допускается	Отпуск при 700...720 °C (без охлаждения ниже температуры подогрева). При толщине >30 мм перед термообработкой рекомендуется подстуживание до 100 °C
10X12НДЛ	≥100		Отпуск при 650°C (с предварительным подстуживанием)
06X12НЗД	≥200	Допускается	Отпуск при 610...630°C (предварительный) и 625...650°C (окончательный)
20X13	≥300	2	Отпуск при 700... 720°

Большинство из названных в таблице недостатков свариваемости сталей не относятся к малоуглеродистым хромистым сталям и к дополнительно легированным никелем. К примеру, при закалке хромоникелевой стали 10X12НДЛ образуется мартенсит, данная сталь будет пластичной и вязкой и также не будет приводит к холодным трещинам при сварке.

Несмотря на то что мартенсит обладает высокими пластическими свойствами, для получения качественного соединения без подогрева, чувствительность сварных швов к водороду является основной причиной хрупкости данных сталей и исходя из этого необходимо осуществлять подогрев до 100°C. Также немаловажным является остаточный аустенит, который способствует улучшению процесса сварки. Чтобы добиться максимальных параметров прочности, пластичности и ударной вязкости необходим охладить полученные сварные соединения до температуры нормального полного $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения, после данного процесса нужно снять остаточные напряжения, а для этого образцы нужно подвергнуть термическому отпуску

Таблица 1.7 - Способы сварки, сварочные материалы и механические свойства сварных соединений хромистых мартенситных сталей. [9]

Марка стали	Способ сварки, сварочные материалы	Механические свойства сварных соединений, не менее		
		σ_b , МПа	KCU, Дж/см ₂	Угол загиба, °
15X5, 15X5М, 15X5МУ, 15X5ВФ, 20X5МЛ, 20X5ВЛ	РДС: электроды Э-10X5МФ, ЦЛ-17, АДС: проволока Св-1 ОХ5М, флюсы АН-Д АН-43. АрДС: проволока Св-06X8Г2СМФТЮЧ, Св-10X5М, аргон	470	50	100
12X8, 12X8ВФ, X9М, 10X9МФБ, 20X8ВЛ, 10X9МФБ	РДС: электроды ЦЛ-57 АРДС: проволока Св-06X8Г2СМФТЮЧ, аргон			
12X11В2МФ	РДС: электроды Э-14X11НВМФ, ЦЛ-32	735	40	Не регламентируется
15X11МФ, 18X11МНФБ, 13X11Н2В2МФ	РДС: электроды Э-Х11НМФ КТЧ-9, Э-12X11НВМФ КТЧ-10	735	50	
	Э-11Х15Н25М6АГ2, ЭА-395/9	588	40	
10X12НДЛ	РДС: электроды Э-06Х13Н, ЦЛ-41	580	50	40
	ЭШС: проволока Св-12Х 13, флюс АН-8	637		
06X12Н3Д	РДС: электроды ЦЛ-51	600		
	АДС: проволока Св-01Х12Н2-ВИ, флюс ФЦ-19	537		
	АрДС: проволока Св-01 Х 12Н2-ВИ, аргон			
	ЭШС: проволока Св-01 Х 12Н2-ВИ, флюс АН-45	590		
20X13	РДС: электроды Э-1 ОХ25Н13Г2, ЗИО-8	540		Не регламентируется
	электроды ЦЛ-25, ЦЛ-51	637		
	АДС: проволока Св-07Х25Н 13, флюс АН-26	540		

1.5 Существующие аддитивные технологии

В настоящее время планеры самолета в основном состоят из монолитных компонентов. Стрингеры, лонжероны и переборки могут быть включены в эту категорию. После фрезерования они собираются и соединяются с корпусами самолетов. Следует отметить, что большая часть металлических деталей производится либо литьем, либо так называемым "вычитанием лишнего", когда все, что не нужно, с помощью механической обработки снимается (удаляется) из литой детали. Процент использования материала, в этом случае составляет при хороших обстоятельствах 50%, но возможны обработки, при которых процент материала достигает не более 20-30%, с целью повышения производительности труда в условиях авиационного производства стремятся к максимально возможной скорости фрезерования деталей. Однако условия, необходимые для достижения этого (высокая скорость подачи, большая глубина резания) при фрезеровании, предполагают высокие силы резания, которые, в свою очередь, вызывают нежелательные деформации заготовки или вибрации в областях (тонкие стенки и полки), где жесткость недостаточна. Эти статические и динамические проблемы часто приводят к геометрическим неточностям, высокой шероховатости и возможному повреждению шпинделя станка.

Аддитивные технологии (далее-АТ) являются перспективным способом получения деталей сложной конфигурации [10-13]. Они основаны не на "считывающей обработке" материала, а на его сложении - послойном расширении материала для создания объёмной трехмерной модели. Эти технологии позволяют использовать практически то же количество материала, которое останется в готовой детали в процессе производства, что повышает коэффициент использования материала и дает возможность изготавливать детали, которые не могут быть получены ни литьем, ни механической обработкой, например, с внутренними полостями сложной формы. Они универсальны, гибки и легко настраиваются. Материалы для изготовления различных деталей машин и агрегатов могут быть разных типов. К ним относятся металлические,

керамические и полимерные материалы, а также комбинации композитных, гибридных или функционально градуированных материалов (ФГМ). Лидером в области применения аддитивных технологий в России является Федеральное государственное унитарное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ)" [11-13], имеющее значительный опыт в области подготовки и производства материалов для АТ. Значительные результаты были достигнуты в МГТУ им. н. э. Баумана, Самарском государственном аэрокосмическом университете имени академика С. П. Королев и Центр аддитивных технологий ФГУП "НАМИ". За рубежом лазерные технологии DirectLightFabrication (DLF), разработанные в Лос-Аламосской Национальной лаборатории, Лос-Аламос, Нью-Мексико [14, 15], и LaserEngineeredNetShaping (LENS TM) были разработаны в Национальной лаборатории Sandia, Альбукерке, Нью-Мексико [16, 17]. Оба процесса обеспечивают непрерывную подачу порошка в фокальную область лазера, где порошок плавится и снова затвердевает в "следе" расплавленной ванны, когда лазерный луч сканирует деталь. Эти процессы доказали свою пригодность для деталей, изготовленных практически из любого материала, с высокими механическими свойствами. Наиболее интересными и эффективными технологиями изготовления металлических деталей методами послойного нанесения материала применительно к авиационной промышленности являются следующие: WAAM (GMAW, PAW, CMT), DMD, LBDMD, EBAM[18]. WAAM (WireArcAdditiveManufacturing) - одна из аддитивных технологий, использующая проволоку в качестве наплавочного материала [12]. Различные исследовательские группы работают над совершенствованием проволоочно-дуговых аддитивных технологий, таких как GMAW, GTAW и плазменно-дуговая сварка (PAW)[18]. GMAW-это разновидность сварки под названием MIG/MAG (дуговая сварка плавлением инертного газа), состоящая в подаче твердого плавящегося электрода в атмосферу защитного газа. Плазменная дуговая сварка (PAW)-это модификация газoeлектрической сварки вольфрамовым электродом (GTAW). CMT-сварка - это процесс MIG/MAG, который имеет особый тип

удаления капель материала[16]. Оно дает нам возможность применять СМТ-процесс, там где было крайне сложно применять технологию MIG/MAG - сварки или же вообще не применялся. СМТ расшифровывается как ColdMetalTransfer, т.е. процесс позволяет осуществлять "холодную" передачу металла при сварке или пайки [18]. Технология наплавки EBAM основана на электронно-лучевой плавке металлической проволоки. Наплавка осуществляется в условиях высокого вакуума это нужно чтобы достичь высокой однородности, плотности изделия, а также становится возможным работать с различными металлами и сплавами: титаном, вольфрамом, никелевыми сплавами, нержавеющей сталью, танталом, ниобием и др. EBAM в настоящее время является единственной технологией, для получения нужных прочностных характеристик используемого продукта, в силовых структурах. Sciaky занимается производством компонентов EBAM для Boeing.

Главными потребителями для продукции выполненных с помощью аддитивных технологий. являются аэрокосмическая, автомобильная и электротехническая промышленность которые используют данную технологию для наплавки металлов. К примеру компания вроде TWI LTD, использует технологию DMD для производства различных компонентов для Airbus и Messier-Dowty. Большая часть продукции производится этой компанией по технологии DMD, включая корпуса турбин, охлаждающие элементы, цилиндры двигателей и т.д. Среди других компаний, которые успешно применяют технологию DMD, есть DMGMori, Optomec, CNC, Insstek. Эта технология повсеместно применяется для высокоскоростного прототипирования, ремонта деталей, таких как лопатки турбин, напыления тонких слоев материала. Аддитивные технологии обладают рядом преимуществ одним из таких является возможность создания деталей сравнительно малой толщины от 0.1 – до 5 мм, а также высокая точность создания объекта, к примеру таких как антенны и элементов электрической цепи. Также немаловажно то, что качество деталей, полученный по данной технологии почти не зависят от последующей обработки, так как почти в ней не нуждаются. В зависимости от источника энергии,

используемого в процессе напыления для реализации АТ, металлические компоненты в основном можно разделить на три группы: лазерные, электронно-лучевые и дуговые сварочные. Лазер как источник нагрева формирует высокую точность позиционирования, но имеет очень низкую энергетическую эффективность. Электронно-лучевая АТ имеет более высокие показатели энергоэффективности, но она необходима для обработки сред с высоким вакуумом, что ограничивает область применения. По сравнению с АТ на основе лазера и электронного пучка, АТ на основе дуговой сварки имеет высокую энергоэффективность и скорость наплавки, а оборудование для дуговой сварки АТ более экономично, чем лазерное и электронно-лучевое оборудование.

1.6 Вакуумная электронно-лучевая наплавка

Процесс электронно-лучевой наплавки входит заключается в нагреве поверхности детали потоком электронов, которые обеспечивают большое скопление энергии на направленные участки. Нами рассматривается небольшой объём нагреваемой поверхности и малое время воздействия на поверхность. При этом наплавленный слой имеет толщину от 1 до 1,5 мм.

Самой сущностью вопроса вакуумной наплавки в пучке электронов занимаются многие деятели науки.

В институте физики прочности и материаловедения (ИФПМ) СО РАН разработана высокоэффективная технология электронно-лучевой наплавки в вакууме, позволяющая создавать высококачественные покрытия мелкозернистой структурой и минимальной пористостью (менее 1%).

Электронно-лучевая наплавка в вакууме является наиболее эффективной в отличии от остальных методов, рассмотрим преимущества ЭЛН

1) так как наплавка проходит в вакуумной среде то осуществляется очистка первичного наплавленного металла от примесей;

2) для ЭЛН в вакууме предусмотрена обширная регулировка мощности луча, что способствует проведению наплавки с минимальным проплавлением и не изменяя химический состав наплавленной стали;

3) также имеется возможность задавать необходимые размеры сварочной ванны, а также легко манипулировать процессом и параметрами процесса наплавки

4) небольшие размеры ванны расплава, концентрированный ввод энергии до 105 Вт/см^2 и значительный перегрев ванны в зоне действия электронного луча способствует растворению твердых частиц в сварочной ванне, а минимальное время её существования за счет быстрого теплоотвода и большей скорости охлаждения (до 104 К/с) расплавленного металла формируют пересыщенный раствор легирующих элементов в матрице [19].

Для данного способа наплавки используются порошки дисперсностью $100 - 350 \text{ мкм}$, так как при дисперсности меньше 100 мкм в вакууме порошки разлетаются под влиянием паров от наплавляемой ванны, следовательно, они недостаточно сыпучи. С другой стороны, если же дисперсность порошков будет больше 350 мкм то нужно затрачивать большее количество энергии, а это может повлиять на основной металл (дополнительное проплавление, рост размеров зерен и возникновение остаточных напряжений) [20].

Процесс наплавки композиционных покрытий на основе диборидов (боридов) титана, синтезируемых в процессе электронно-лучевой наплавки из термореагирующих порошков, способствовал дополнительному выделению количество тепла в зоне оплавления за счет экзотермической реакции между компонентами смеси. Это способствовало формированию покрытий с более однородной структурой, так же сформировалась слоистая структура с преимущественным содержанием фазовых составляющих по глубине слоя. Так же было наплавлено покрытие на основе карбонитридов титана для упрочнения прокатных валков уплотнений. В процессе отработки технологии электронно-лучевой наплавки, была проведена оптимизация технологических режимов и составов покрытий.

Установлено оптимальное содержание карбонитридов титана в связке, при котором покрытие имеет минимальный коэффициент трения и интенсивности изнашивания. Полученные результаты исследований были использованы при упрочнении зубьев ковшей экскаваторов, прокатных уплотнений, срок службы которых увеличился в 3...4 раза [21].

1.7 Оборудование для электронно-лучевой наплавки

Рассмотрим примеры ЭЛН эксплуатируемой на Западно-Сибирском металлургическом комбинате. Оборудование для ЭЛН состоит из вакуумной камеры, размеры которой определяются номенклатурой обрабатываемых изделий, электронной пушки и манипулятора. На рисунке 1.9 показан внешний вид установки для ЭЛН. На ней осуществляется нанесение покрытий на поверхность кислородных фурм, лопатки эксгаустера и другие изделия, применяемые в металлургии.



Рисунок 1.9 - Внешний вид установки ЭЛН

Так как ЭЛН сопровождается насыщенным выбросом газов, паров из зоны термического влияния наплавки, то соответственно используется пушка с плазменным катодом, для генерации пучка электронов [22, 23]. Эти пушки не

содержат накаливаемых электродов и деталей, что делает их не чувствительными к химически активным и тугоплавким парам обрабатываемых материалов. Они способны работать в условиях наплавки без применения специальных мер защиты эмиттера.

Эмиссия электронов в пушках осуществляется из плазмы отражательного низковольтного разряда с полым катодом. Электроны, выходящие из плазмы, попадают в высоковольтное электрическое поле, ускоряются в нем, формируются в луч и фокусируются магнитным полем фокусирующей системы. В свою очередь изменением разрядного тока мы можем регулировать из плазмы ток электронной эмиссии.

Конструкция пушек включает металлокерамические блоки, которые обеспечены герметичностью и механической прочностью. Сами же корпуса таких пушек имеют внутрикамерное исполнение, это и другое обеспечивает простоту и доступность к катодному узлу для обслуживания. На рисунке 1.10 предоставлен внешний вид пушки, установленной на манипуляторе установки.



Рисунок 1.10 - Внешний вид пушки

Манипулятор предназначен для перемещения изделия относительно пушки. При больших, габаритных изделиях можно перемещать пушку относительно изделия.

Вакуумная камера обеспечивает при наплавке в ее рабочем объеме разрежение 1,33-13,3 МПа. Электроны могут быть ускорены до энергии 20—30

кэВ (низковольтные пушки), до 30— 100 кэВ (пушки с промежуточным ускоряющим напряжением) и до 100—200 кэВ (высоковольтные пушки). Поток электронов, эмитируемых катодом, формируется предварительно электростатическим полем в области «катод — анод». Регулирование силы тока луча производится подачей напряжения на электрод 4. Удельная энергия, высвобождаемая в месте бомбардировки металла потоком электронов, может изменяться с помощью системы электромагнитной фокусировки луча 6. Для совмещения пятна нагрева с местом сварки или при наплавке по сложному контуру используется система электромагнитного отклонения луча 7 [24.]

По сравнению с индукционной наплавкой производительность электронно-лучевой наплавки в 10—15 раз выше. Данный способ можно применять для наплавки любых материалов. Он позволяет точно дозировать энергию, вводимую в металл, изменяя тем самым глубину проплавления и структуру металла детали и наплавленного слоя.

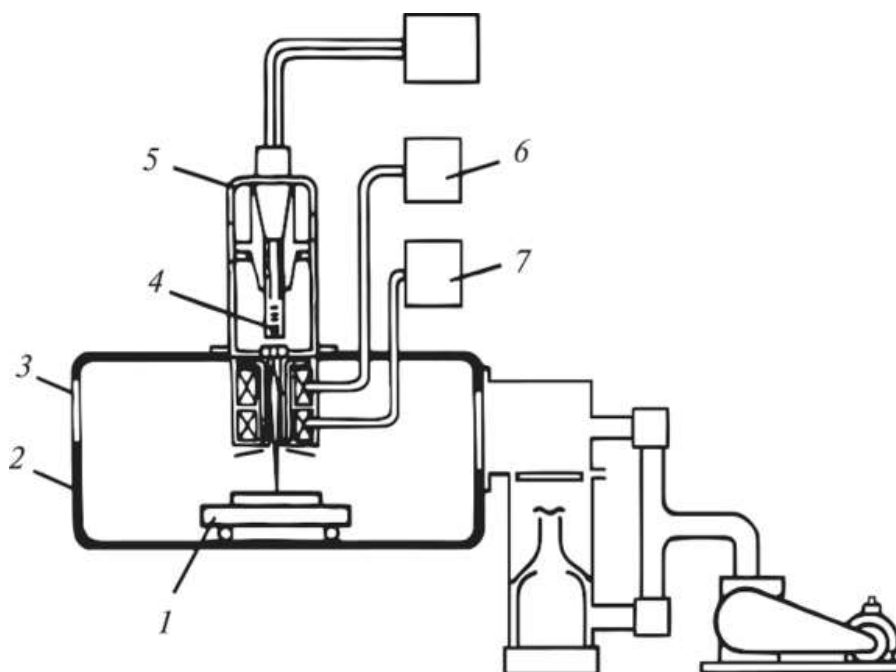


Рисунок 1.11. - Схема электронно-лучевой наплавки

7 — механизм перемещения восстанавливаемой детали; 2 — вакуумная камера; 3 — смотровые окна; 4 — электрод; 5 — сварочная пушка; 6 — система фокусировки луча; 7 — система отклонения луча

Таблица 1.8 - Перечень возможностей электронно – лучевой наплавки в зависимости от состава наплавочных материалов

Основные компоненты	Свойства покрытия	Область применения
Сплав на никель-хромовой основе	Композиционный материал с $T_{пл} = 1010 - 1080^{\circ}\text{C}$. Коррозионная стойкость, высокие антифрикционные свойства, стойкость к ударным нагрузкам. Температура эксплуатации – до 800°C . Обработка слоя резанием и шлифованием. Твердость покрытия 45+52 HRC.	Покрывают для осей, поршней, муфт, уплотнительных колец, защитных втулок валов, прокатных валиков, деталей запорной арматуры, направляющих роликов. Толщина покрытия – до 2,5 мм.
Сплав на никельхромовой основе	Композиционный материал с $T_{пл} = 980 - 1060^{\circ}\text{C}$. Высокие антифрикционные свойства, абразивная износостойкость, стойкость к эрозии, коррозии при температуре до 700°C . Обработка покрытия шлифованием. Твердость покрытия 55+62 HRC	Покрывают для защитных муфт валов и втулок, опорных поверхностей транспортных шнеков, пуансонов, цапф, толкателей, кулачков, эксцентриков. Толщина покрытия – до 2,0 мм.
(Ni+Cr) + 40% WC	Композиционный материал на основе сплава Ni с карбидом вольфрама, $T_{пл} = 980-1050^{\circ}\text{C}$. Высокая абразивная износостойкость в сочетании с сопротивлением давлению, механическим и тепловым ударам, коррозии и кавитации. Рабочая Температура – до 700	Применяется для катков кручения и направляющих, тяговых роликов машин, прокатных конусов, лопастей смесителей. Толщина покрытия – до 3,0 мм (при использовании технологии «триплекс»).
(Ni+Cr)+50% WC	Композиционный материал на основе сплава никеля с карбидом вольфрама. $T_{пл} = 980+1050^{\circ}\text{C}$. Высокие абразивная износостойкость, коррозионная стойкость. Максимальная температура эксплуатации – 600°C . Обработка только шлифованием. Твердость 55+62 HRC.	Для лопастей смесителей и шнеков, пуансонов керамических процессов, деталей мукомольного оборудования. Толщина покрытия – до 2,0 мм (при использовании технологии «триплекс»).

Ниже приведены фотографии некоторых изделий с нанесенными покрытиями.

Стальные лопатки эксгаустера для производства аглометра с покрытием из карбидостроителей. Износостойкость упрочненных лопаток увеличилась в 2 - 3 раза, рисунок 1.12.

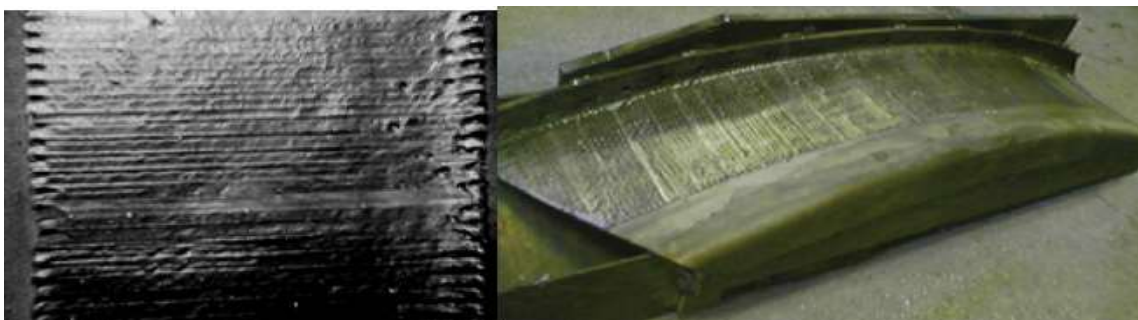


Рисунок 1.12. - Стальные лопатки эксгаутера для производства агломерата с покрытием из карбидосталей.

Для упрочненных зубьев ковша экскаватора «Камацу», рисунок 1.13, и поддонных деталей использовался порошок с азотосодержащей хромомарганцевой сталью с карбинитридным упрочнение. После испытания в Японии на «Камацу» увеличение срока службы зубьев составило, в песчаном грунте, в 7-8 раз, в скальном грунте 1.7-2.8 раза по сравнению со штатными зубьями.



Рисунок 1.13. - Упрочненные зубья ковша экскаватор «Камацу».

1.8 Концентрированные потоки энергии (КПЭ)

(КПЭ) – это методы обработки микро- и макроповерхностей материалов, где инструментом обработки являются частицы: электроны, фотоны, атомы, ионы, обладающие и свойствами волны, которые сконцентрированы в пучки сравнительно малых поперечных размеров. Минимальная плотность мощности энергии около 10^3 Вт/см².

По общим физическим признакам все источники генерации КПЭ можно классифицировать на следующие виды [25].

В качестве источников КПЭ для наплавки и ударной обработки нашли широкое применение мощные импульсные лазерные, плазменные, ионные и электронные пучки.

Наиболее интенсивно развиваются методы модификации поверхности материалов с помощью облучения КПЭ с плотностью мощности $W \approx 10^3 - 10^9$ Вт/см² и длительностью импульса $10^{-8} \dots 10^{-5}$ с. При воздействии концентрированных потоков энергии (КПЭ) реализуется сверхбыстрый нагрев (до $1 \cdot 10^{12}$ К/с), плавление, испарение и сверхбыстрое ($1 \cdot 10^{10}$ К/с) затвердевание материала. Эти процессы позволяют формировать в приповерхностном объеме материала аморфные и нанокристаллические структуры, метастабильные фазы, которые в традиционных технологических процессах невозможно получить. Кардинальные изменения структурно-фазового состояния поверхностных слоев могут обеспечивать улучшение 49 механических и физических свойств материала. Поэтому данные методы модификации поверхности металлических материалов являются перспективным направлением современного металловедения

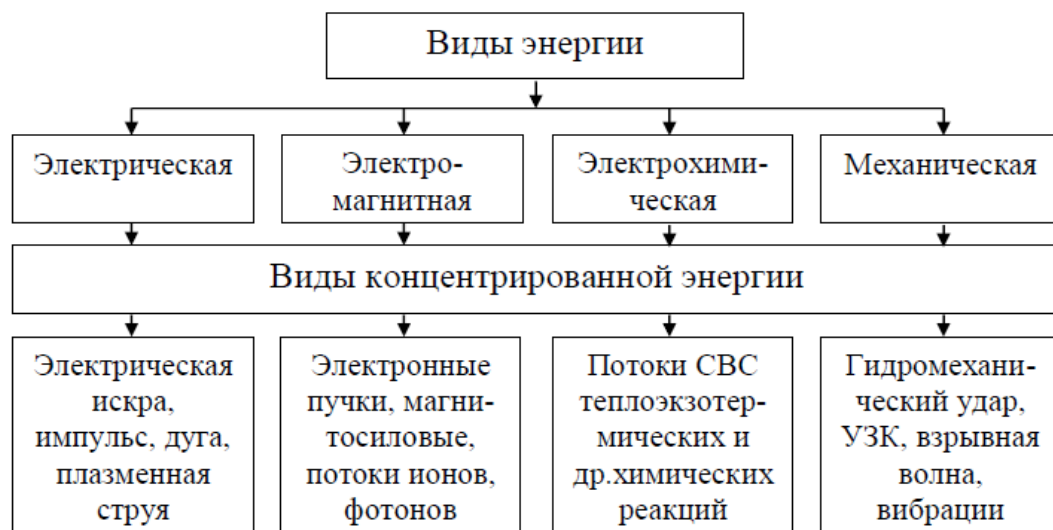


Рисунок 1.14 – Классификация видов КПЭ [25]

В качестве источников КПЭ для наплавки и ударной обработки нашли широкое применение мощные импульсные лазерные, плазменные, ионные и электронные пучки.

1.9 Постановка задачи

Из анализа литературы следует, что мартенситный класс стали, благодаря своей особой структуре, обладает рядом превосходных характеристик. Такие сплавы отличаются высокой прочностью и устойчивостью к деформациям, износостойкостью. Поэтому мартенситная сталь используется для производства энергетического оборудования, запорной арматуры.

Устойчивая к высоким температурам и окислению, такая сталь идеально подойдет для изготовления деталей двигателей, пластин клапанных компрессоров, роторов и турбин. В медицине сплав тоже нашел применение - из него производят режущие инструменты. Мартенситно-стареющие стали весьма технологичны в металлургическом и машиностроительном производстве. В закаленном состоянии мартенсит этих сталей пластичен и может подвергаться деформации, обработке режущим инструментом.

После старения готовые изделия приобретают высокий комплекс эксплуатационных свойств, необходимых для работы в агрессивных средах, повышенных температур с одновременным воздействием абразива или ударно-абразивного износа.

На основе изученных научных публикации было выяснено что при промежуточной температуре старения в мартенситной решетке происходит равномерное осаждение мелких интерметаллических фаз, что обуславливает превосходные механические свойства. Наиболее важными из этих фаз являются Ni_3Ti и Ni_3Mo . Эти осадки получают в аустенитных сталях закалкой от температуры раствора 1100-1200 ° С и выдержкой в диапазоне 480-650 ° С. [8]

Таким образом было выяснено что при микроструктура образцов претерпевает ряд интересных изменений особенно после испытаний на

растяжение сжатие в комнатной температуре и при повышенной температуре (535С°, 590С°, 685С°), на основе изученных научных статей можно заключить при старении следующее:

Во-первых, границ зерен становятся намного толще и четче, а при изучении микроструктуры мы видим наличие зерен.

Во-вторых, можно предположить мартенситную структуру из-за высокой плотности игольчатых выводов в структуре. При наблюдении под большим увеличением на толстых границах зерен старых образцов появляются некоторые грубые пятна и неровности, которые могут быть отнесены к присутствию высокой интенсивности осадков это может быть результатом различия состава легирующих элементов, так как некоторые образцы могут содержать большой процент титана, который является одним из основных элементов в процессе осаждения, образующего $\text{Ni}_3\text{Ti}^{(10)}$ [8]. Это также подтверждено анализом EDX, на границе зерен появляются образования богатые титаном и молибденом в процессе старения.

Сплавы становятся тверже и титан оказывает наибольшее влияние на твердость сплавов, и после процесса старения стали с большим содержанием титана будут тверже хоть и при начале старения могут иметь самую низкую твердость, также возможное влияние оказывает содержание углерода и никеля, соответственно, чем их будет меньше, тем тверже будет сплав [8]

На основании вышеизложенного целью данной работы является исследование влияния порошковой вакуумной электронно-лучевой наплавки на структуру и микротвердость покрытий из мартенситностареющей стали непосредственно после наплавки и последующего их старением.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ литературы по исследуемому вопросу и осуществить постановку задачи исследования;
- получить спеки исходных порошков, дробление и рассев с целью выделения необходимой фракции для последующей наплавки;

- провести наплавку полученных спеков;
- часть образцов подвергнуть старению;
- подготовить образцы и исследовать их макро- и микроструктуру;
- провести качественный и количественный анализ микроструктуры;
- построить графики распределения микротвердости по толщине покрытий как непосредственно после наплавки, так и последующего старения;
- провести анализ полученных результатов и дать рекомендацию по дальнейшему исследованию данных покрытий и возможности их промышленного применения.

2 Материалы, оборудование и методы исследования

2.1 Технологическое оборудование для нанесения покрытий

Электронно-лучевая наплавка покрытий осуществлялась на специальной установке (рис. 2.1), разработанной на базе промышленного сварочного электронно-лучевого оборудования [26].

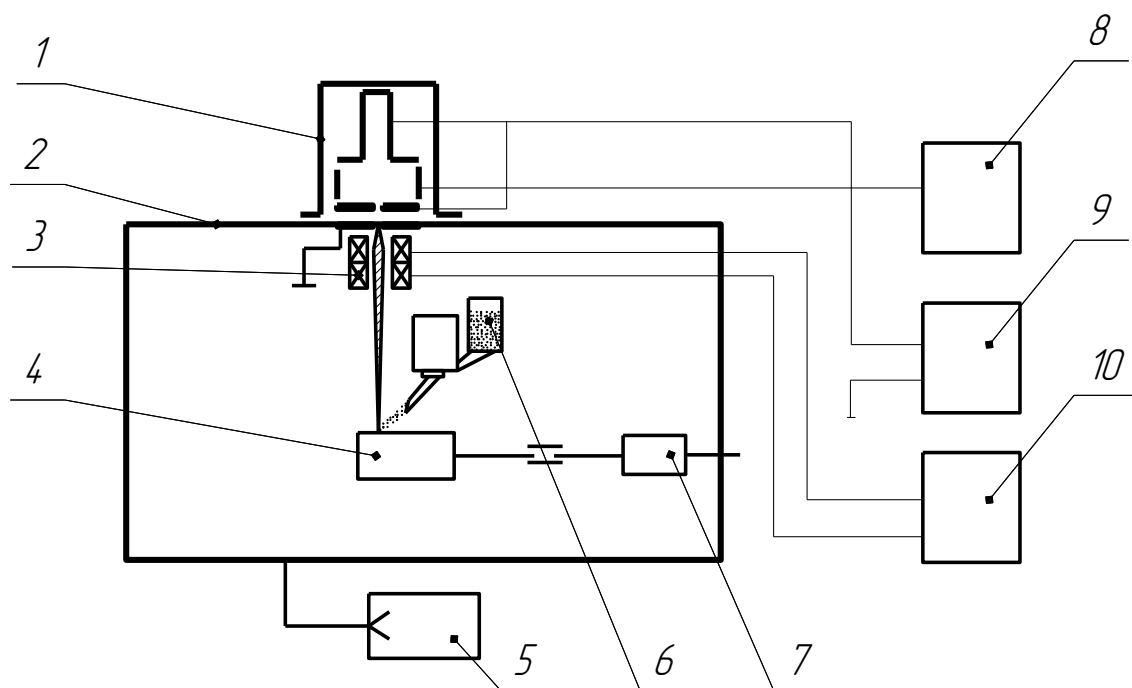


Рисунок 2.1 - Функциональная схема установки электронно-лучевой наплавки:

- 1 - электронная пушка с плазменным катодом;
- 2 - вакуумная камера;
- 3 - катушки фокусировки и развертки луча;
- 4 - наплавляемая деталь;
- 5 - вакуумная станция;
- 6 - порошковый питатель;
- 7 - манипулятор;
- 8 - блок питания разрядом;
- 9 - высоковольтный блок;
- 10 - блок управления фокусировкой и разверткой луча

Таблица 2.1 - Технологические режимы электронно-лучевой наплавки

Ток электрон- ного луча I, мА	Ускоряюще е напряжение U, кВ	Скорост ь наплавк и V, мм/с	Скорост ь подачи порошка V, г/мин	Остаточное давление в наплавочной камере Р, Па	Плотность мощности Р, Вт/см ²	Время получения вакуума t, мин	Время выхода диф.насоса на режим t, мин
30-40	26	3	30-40	1×10^{-2}	10^3 - 10^4	15	60

Особенностью установки является то, что она оснащена электронной пушкой (1) с плазменным катодом. Применение такого источника электронов позволяет резко повысить его ресурс и вести наплавку в техническом вакууме ($P < 5 \times 10^{-1}$ Па). Установка дополнительно оборудована системой подачи порошка в зону расплава, состоящую из порошкового питателя - дозатора с бункером (6) и блоком управления порошковым питателем. Наплавка покрытия производится подачей наплавляемого порошка в жидкометаллическую ванну, возникающую на поверхности наплавляемой детали (4) под действием электронного пучка. Формирование покрытия происходит при совмещении поперечных колебаний электронного пучка и продольного перемещения детали относительно электронной пушки и порошкового питателя. Использование специальных манипуляторов даёт возможность наносить покрытия на цилиндрические поверхности диаметром до 400 мм, кольца, диски и плоские поверхности размером до 700 мм, а также на криволинейные поверхности.

Технологические режимы электронно-лучевой наплавки представлены в таблице 2.1. В качестве основного металла (подложки) использовали пластины из Стали 20 размером 20×250 мм и толщиной 30 мм. Валики толщиной 4...5 мм и шириной 20 мм формировались за 9 проходов.

2.2 Применяемые наплавочные материалы

В работе в качестве исходных материалов для наплавки мартенситностареющей стали 25Х12М12К10Н (ЭП928) использовали порошки железа марки ПЖРВ2 (С-0,01-0,03, Р<0,015, Si<0,03, S<0,01, Mn<0,08, O₂<0,2, насыпная плотность 1,75...1,85 г/см³, класс крупности 450 мкм. Порошок железа марки ПЖРВ2 (С-0,01-0,03, Р<0,015, Si<0,03, S<0,01, Mn<0,08, O₂<0,2, насыпная плотность 1,75...1,85 г/см³, класс крупности 450 мкм. Порошок высокохромистого чугуна (ПГ-С27) как источника углерода: С- 3.3-4.5. Cr – 25-28, Ni – 1.55..2.0, W – 0.2...0.4, Si – 1...2, Mn – 0.8...1.5, Мо – 0.08...0.15. Хром ЭРХ1. Кобальт ПК-1У. Никель порошок. Молибден порошок.

Получение спеков из приготовленных смесей проводили в вакуумной печи типа СВЛ 2.5-2500 при температуре 1050°С. Время выдержки при температуре спекания 60 минут.

После спекания, осуществляли дробление полученных спеков на механическом прессе и рассевом полученного порошка на фракции. Для наплавки использовалась фракция размером 125 - 450 мкм. Последовательность технологических операций при получении композиционных порошков приведена на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 - Последовательность технологических операций при получении композиционных порошков

Старение образцов после наплавки проводили в воздушной печи сопротивления при температурах (T_c) $560 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение трех (партия 972) и пяти (партия 974) часов с последующим охлаждением на спокойном воздухе.

2.3 Структурно-фазовый анализ исследуемых покрытий

Структуру наплавленных покрытий на поперечных микрошлифах исследовали с помощью оптического микроскопа *OLYMPUS GX51* с комплектом прикладных программ *SIAMS 700*.

В настоящей работе способ приготовления микрошлифов традиционный - механическая шлифовка и механическая полировка на алмазных пастах различной дисперсности. Химическое травление покрытий производилось в 4% спиртовом растворе HNO_3 . Определение количественных характеристик микроструктуры проводили планиметрическим методом М. Делесса [27].

Сущность планиметрического метода определения структурного объемного состава сплава М. Делесса, сводится к измерению суммарной площади сечений микрочастиц данной структурной составляющей (или фазы) на определенной площади металлографического шлифа, различными способами, такими как взвешивание, наложением эталонных фигур и т.д. Рассмотрим способ подсчета суммарной площади сечений микрочастиц внутри квадрата (рисунок 2.3).

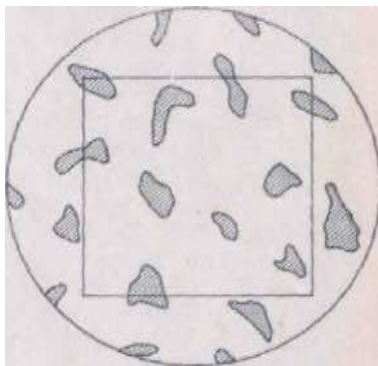


Рисунок 2.3 - Схема подсчета суммарной площади сечений микрочастиц внутри квадратного контура

В тех случаях, когда измеряемые сечения микрочастиц имеют форму близкую к кругу (неметаллические включения на поперечном шлифе, доэвтектоидные карбиды, графит высокопрочного чугуна и т. п.), суммируют площади только тех сечений, центры которых находятся внутри периметра квадрата. Сечения, центры которых лежат вне квадрата, не учитывают, если даже они частично находятся внутри периметра квадрата.

В работе мы на каждом изображении микроструктуры выделяли по 10 квадратных контуров и в каждом из них подсчитывали количество дисперсных частиц и их средний размер. Далее находили среднее количество частиц по всем 10 квадратам, рис. 2.4.



Рисунок 2.4 - Микроструктура наплавки после старения (5 часов).

Пример нанесения квадратных контуров

При других формах сечений микрочастиц исходят из положения теории вероятностей о том, что прямая линия, пересекающая большое число плоских фигур, расположенных случайно, делит их площади в среднем на две равные половины, т. е. суммарные площади пересеченных прямой линией фигур будут одинаковы по обе стороны прямой линии. Кроме того, прямой угол, вершина которого попала на площадь плоской фигуры, отсекает от нее, в среднем, одну четвертую часть площади. Поэтому, измерив по отдельности площади всех сечений микрочастиц, целиком или частично попавших внутрь контура

квадрата, суммируют площади сечений, целиком находящихся внутри периметра квадрата, половину площади тех сечений, которые перерезаны этим периметром, и четвертую часть площади сечений, попавших на вершины квадрата.

Для определения объемной доли структурной составляющей в сплаве, суммарную площадь сечений микрочастиц структурной составляющей внутри квадрата делят на площадь самого квадрата. Эту операцию повторяют в ряде участков шлифа для получения оценки, характеризующей его структуру в целом.

2.4 Измерение микротвердости

Микротвердость по толщине наплавленного слоя измеряли на поперечных шлифах на приборе ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 0,981 Н. Измерения производили в виде двух параллельных дорожек со смещением уколов индентора между дорожками 50 мкм. Расстояние между дорожками было 200 мкм. Это позволило построить график изменения микротвердости по толщине с шагом 50 мкм.

3 Результаты и обсуждение

На рисунке 3.1а представлена макроструктура границы раздела наплавка - основной металла в зоне термического влияния. Исходя из анализа макроструктуры просматривается четкая граница раздела между наплавленным слоем и основным металлом, в качестве которого представлена сталь 20 с феррит-перлитной структурой, рис. 3,1б. Структура стали 20 представлена ферритными зернами близко к равноосной форме со средним размером 12 мкм, по границам которых в виде отдельных колоний присутствует пластинчатый перлит. В зоне термического влияния перлитные колонии выглядят темными, что связано с высокой дисперсностью перлита, а феррит присутствует в виде видманштетовой морфологии, рис. 3.1,а.



а



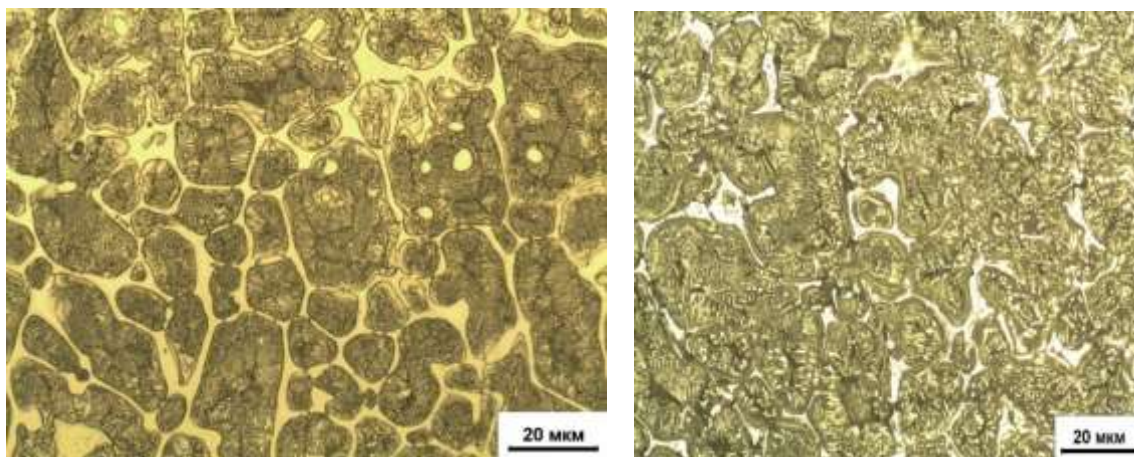
б

Рисунок 3.1 - Макроструктура границы раздела наплавка – основной металл (а) и микроструктура основного металла (б)

Наплавленный слой имеет разную степень травимости по толщине покрытия, рис. 3.1а. В качестве основной структуры выделяются зерна со средним размером 16 мкм, по границам которых в виде сетки выделяется легированный аустенит (судя по величине микротвердости, ~3000 МПа). Сами зерна имеют двухфазную структуру пластинчатой морфологии, рис. 3.2а.

После старения как внутри зерен так и на месте легированного аустенита выделяется большое количество дисперсных равноосных частиц со средним

размером 0,5...0,6 мкм, рис. 3.2,б. Сплошная сетка легированного аустенита полностью исчезает и остаются только отдельные выделения аустенита, которые непосредственно после наплавки имели более толстое поперечное сечение.



а

б

Рисунок 3.2 – Микроструктура покрытия непосредственно после наплавки (а) и после дополнительного старения (б).

На рисунках 3.3 и 3.4 представлены графики изменения микротвердости по толщине наплавки в зависимости от времени старения. Видно, что после старения в течение 3 часов микротвердость покрытия максимальна и составляет $HV = 5922 \pm 405$ МПа. В то время как непосредственно после наплавки микротвердость равна 4644 ± 470 МПа. С увеличением времени старения до 5 часов (рис. 3.4), микротвердость падает до 5430 ± 400 МПа. Судя по количественному анализу микроструктуры методом М. Делесса (Таблица 3.1) уменьшается среднее количество частиц с увеличением времени старения с 34 до 29 штук на один квадратный контур размером 20×20 мкм².

Таблица 3.1 – Результаты измерений

Время старения при 560°C	Общее количество частиц в 10 квадратных контурах шт.	Среднее количество частиц на один квадратный контур, шт.
3 часа (партия 972с)	323/357	32/36
5 часов (партия 974с)	295/290	29

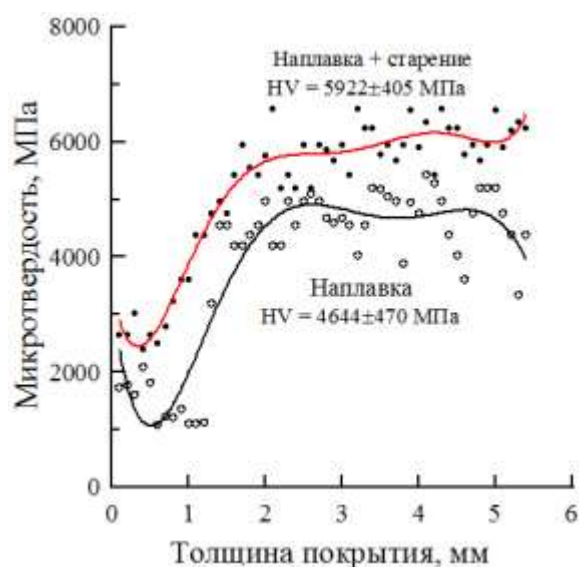


Рисунок 3.3- График изменения микротвердости образцов по толщине наплавки после наплавки и дополнительного старения при 560°C в течение 3 часов

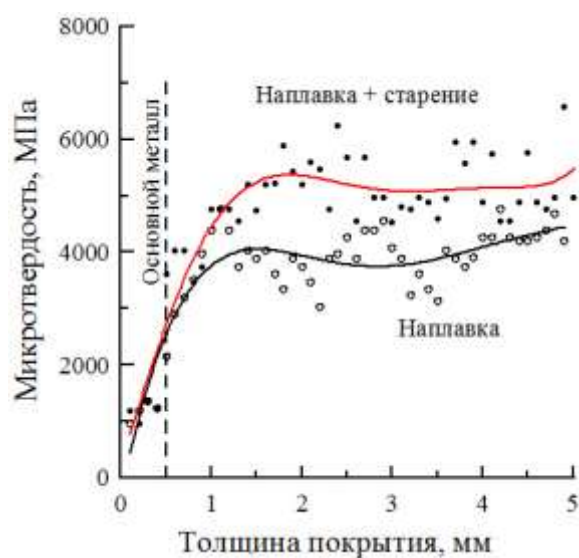


Рисунок 3.4 - График изменения микротвердости образцов по толщине наплавки после наплавки и дополнительного старения при 560°C в течение 5 часов

Находим средний размер для каждой частицы. Для старения в течение 3 часов этот размер равен 0,5 мкм, а для времени старения 5 часов – 0,6 мкм. Далее находим площадь одной частицы по формуле $S=\pi \times R^2$:

$$S_1=3.14 \times 0.25^2=0.196 \text{ мкм}^2$$

$$S_2=3.14 \times 0.3^2=0.283 \text{ мкм}^2.$$

В таблице 3.2 представлена общая площадь, занимаемая в квадратном секторе.

Таблица 3.2 – Площадь частиц, выделившихся в результате старения

Время старения при 560°C	Среднее количество частиц на один квадратный контур, шт.	Площадь, занимаемая частицами в квадратном контуре мкм ²
3 часа (партия 972с)	32/36	6,28/7,02
5 часов (партия 974с)	29	8,207

Зная площадь квадратного контура (400 мкм²) вычисляем объемную долю дисперсных частиц в покрытии. Для времени старения 3 часа она соответственно равна:

$(6.28 \times 100)/400 = 1,57 \%$ и $(7,02 \times 100)/400 = 1,76 \%$ (средняя величина 1,665%). При времени старения 5 часов объемная доля дисперсных частиц равна $(8,207 \times 100)/400 = 2,05 \%$.

Таким образом объёмная доля дисперсных частиц в наплавке с увеличением времени старения с 3 до 5 часов увеличивается на 23%. Однако они с увеличением времени старения увеличиваются в размерах (коагулируют). Сам остаточный аустенит по границам зерен в процессе старения превращается в мартенситно-бейнитную смесь, а ранее выпавший мартенсит подвергается отпуску. Одновременное влияние этих факторов приводит к изменению микротвердости в наплавленном покрытии. Можно предположить, что на уменьшение микротвердости покрытия (от 5922±405 МПа до 5430±400 МПа) с увеличением времени старения (с 3 до 5 часов) влияет коагуляция частиц и

уровень распада аустенита на мартенситно-бейнитную смесь и старение самого первичного мартенсита.

В следствии выделения интерметалидов из мартенсита и остаточного аустенита происходит дисперсионное твердение, в мартенситно-старееющих сталях. По примеру десперисонного твердения полученного из других сталей (алюминиевых медных и т.д) данный процесс был наименован старением, ну ввиду того что изучаемой структуре присутствует мартенсит этот класс стали именуются мартенситностареющими.

Благодаря выделению частиц на дислокации, данные частицы промежуточных интерметалидных фаз в изучаемых сталях сильно дисперсные, что является для нас очень значимым.

Когда происходит перестройка мартенситной решётки появляются высокая плотность дислокаций которая характеризует структуру мартенситностареющих сталей. Если рассматривать не двойниковый (реечный) мартенсит, то в его структуре плотность дислокаций будет такой же как в наклепанном металле, а именно от 10^{11} до 10^{12} см⁻², что отличает субструктуру в закаленном состоянии мартенситных сталей от других сталей подверженных закалке без превращения.

Мартенсит, пересыщенный легирующими элементами, концентрационно расслаивается из-за атмосфер на дислокациях служащих центрами. Предположительно в процессе отпуска мартенситностареющих сталей выделяются промежуточные фазы до наступления которых осуществляется сегрегация атомов легирующих элементов.

Благодаря тому, что дислокационная структура очень устойчива к последующим термическим влияниям, так как она сформирована в процессе мартенситных превращений, и в основном не изменяется при дальнейших температурах старения, что составляет 480 - 500 °С.

В основном благодаря дисперсным выделениям которые закрепляют дислокации, сохраняется высокая плотность этих дислокаций в процессе отпуска.

Если же старение проходит в период длительного времени при температуре 550⁰С и выше, то происходит огрубление выделений и увеличение расстояния между частицами. Данные условия приводят к снижению плотности дислокаций. При длительных выдержках полукogerентные выделения промежуточных интерметаллидов сменяются более грубыми некогерентными выделениями стабильных фаз Лавеса типа Fe₂Ni и Fe₂Mo.

Исходя из состава наплавочной смеси (сталь 25X12M12K10H) и анализа диаграмм состояния Mo-Co, Cr-Mo, Co-Cr, Fe-Mo и Fe-Co [28] можно с уверенностью предположить, что в процессе старения выпадали дисперсные фазы на основе интерметаллидов типа MoCo₃, Fe₂Mo, Ni₃Mo.

Происходящее в процессе старения мартенсита дисперсионное твердение значительно увеличивает прочность, но заметно уменьшает вязкость сталей, которая, однако, все-таки остается удовлетворительной. При нагружении здесь возникают только очень небольшие пики напряжений, которые легко исчезают вследствие очень хорошей способности этих сталей к деформациям [29].

4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

На сегодняшний день с развитием науки, непосредственно развиваются и все отрасли промышленности. Конкуренция технологий и разработок, внедряются и замещают устаревшую продукцию с рынка. Внедрение новой технологии происходит тем больше чем больше надежность и экономическая эффективность.

Все то что мы видим вокруг, создано из различных материалов, различающихся своим назначением, свойством и ценой. И большинство желает иметь самое лучшее, что может позволить себе по доступной цене. Крупные компании не являются исключением ведь независимо от надежности разработки, главным успехом любой компании является увеличение дохода путем снижения затрат.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Данное исследование посвящено изучению мартенситно-стареющих сталей под воздействие электронно-лучевой наплавки в вакууме с последующим старением. Данное исследование позволит определить величину упрочнения материала при наплавке и последующем старении. Результаты исследования целесообразно применить в производстве для повышения прочностных характеристик, выпускаемых изделий.

В зависимости от области применения данной стали, от неё требуются определённые прочностные характеристики, которые получают с помощью различных упрочняющих технологий.

Итак, целевой рынок результатов исследования будет включать в себя все отрасли промышленности, нуждающиеся в высокой коррозионной стойкости и прочности изделия.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

В настоящее время наплавка является одним из методов, обеспечивающих повышение абразивной износостойкости деталей машин и элементов конструкций, создание покрытия с большим количеством дисперсных включений, равномерно распределенных в поверхностном слое [31].

Для формирования металлокерамических покрытий, упрочненных тугоплавкими частицами, все чаще используют методы наплавки с применением высококонцентрированных потоков энергии. Среди них можно выделить отличающуюся высокой производительностью обработку электронным пучком, выведенным в воздушную атмосферу [32, 33].

Наиболее эффективным методом поверхностной обработки сталей является вне вакуумная электронно-лучевая наплавка порошковых покрытий с использованием промышленных ускорителей электронов. Этот метод обладает рядом преимуществ, к которым относятся высокая производительность процесса и высокий коэффициент полезного действия, по сравнению с традиционными методами обработки. Подбирая химический состав наплавляемого материала и режимы электроннолучевой обработки, можно в широких пределах управлять структурой, а, следовательно, и свойствами поверхностных слоев металлических материалов [31].

Таким образом наплавка широко используется в промышленности, и внедрения результатов нашего исследования будет очень важно, как с практической точки зрения, так и с экономической.

4.2 Fast – анализ

В качестве предмета исследования выбран микротвердомер ПМТ-3М, так как с помощью него производились основная часть исследования и измерения микротвердости.

4.2.1 Описание главных, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом

Таблица 4.2.1 – Классификация функций, выполняемых объектом

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
1.Основание	1	Обеспечение устойчивости микротвердомера			X
2.Колонна	1	Обеспечивает перемещение кронштейна и тубуса		X	
3.Гайка	1	Обеспечивает передвижение кронштейна и тубуса			X
4.Зажимной винт	1	Обеспечивает крепление кронштейна			X
5.Барашек грубого движения	1	Обеспечивает грубое движение тубуса		X	
6.Барашек микрометрического движения	1	Обеспечивает микрометрическое движение тубуса		X	
7 Рукоятка	1	Обеспечивает стопорение грубого движения тубуса			X
8 Барашек	1	Определяет высоту			X

Продолжение таблицы 4.2.1

9	Предметный столик		Обеспечивает установку рассматриваемого образца		X	
10	Винт		Обеспечивает перемещение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях столика			X
11	Стопорный винт		Обеспечивает стопорение столика			X
12	Рукоятка		Обеспечивает поворот столика			X
13	Призма		Обеспечивает исследование поверхностей цилиндрических предметов			X
14	Пластина		Обеспечивает поместить предмет любой конфигурации			X
15	Механизм нагружения (шток)		Обеспечивает необходимое нагружение		X	
16	Оправка с алмазной пирамидкой		Обеспечивает нанесение укола на исследуемый объект		X	
17.Гирька		1	Обеспечивает необходимое усилие		X	
18.Рукоятка арретира		1	Обеспечивает опускание штока	X		
19.Осветитель		1	Обеспечивает освещение исследуемого предмета	X		
20.Светофильтры		1	Обеспечивают контрастность исследуемого предмета		X	
21.Трансформатор		1	Обеспечивает питание	X		
22.Винтовой окуляр-микрометр		1	Обеспечивает наблюдение исследуемого предмета	X		

4.2.2 Определение значимости выполняемых функций объектом

Таблица 4.2.2 – Матрица смежности

	Основание	Колонна	Гайка	Зажимной винт	Бара-шек грубо-го движения	Бара-шек микро-метри-ческо-го движения	Рукоятка
Основание	=	>	>	>	<	<	>
Колонна	<	=	>	>	<	<	>
Гайка	<	<	=	<	<	<	<
Зажимной винт	<	<	>	=	<	<	>
Бара-шек грубого движения	>	>	>	>	=	<	>
Бара-шек микрометрического движения	>	>	>	>	>	=	>
Рукоятка	<	<	>	<	<	<	=
	Бара-шек	Предметный столик	Винт	Стопорный винт	Рукоятка	Призма	Пластина
Бара-шек	=	<	>	>	>	<	>
Предметный столик	>	=	>	>	>	<	>
Винт	<	<	=	<	<	<	>
Стопорный винт	<	<	>	=	>	<	>
Рукоятка	<	<	>	>	=	<	>
Призма	>	>	>	>	>	=	>
Пластина	<	<	>	<	<	<	=

Продолжение таблицы 4.2.4

	Механ изм нагруж ения (шток)	Оправка с алмазно й пирамид ой	Гир ька	Рук оят ка арр ети ра	Осв ети тель	Све тоф иль тры	Тран сфор мато р	Винтовой окулярмикро метр
Механизм нагружения (шток)	=	<	>	>	<	>	<	<
Оправка с алмазной пирамидой	>	=	>	>	>	>	<	<
Гирька	<	<	=	<	<	>	<	<
Рукоятка арретира	<	<	<	=	<	>	<	<
Осветитель	>	<	>	>	=	>	<	<
Светофильтры	<	<	<	<	<	=	<	<
Трансформатор	>	>	>	>	>	>	=	>
Винтовой окулярмикрометр	>	>	>	>	>	>	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая

Преобразовываем матрицы смежности в матрицы количественных соотношений функций.

Таблица 4.2.3 – Матрица количественных соотношений функций

	Осн ова ние	Коло нна	Гайк а	Зажи м- ной винт	Барашек грубого движения	Барашек Микром етрическ ого движени я	Ру ко ятк а	Итого
Основани е	1	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	8
Колонна	0,5	1	1,5	1,5	0,5	0,5	1,5	7
Гайка	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	5
Зажимно й винт	0,5	0,5	1,5	1	0,5	0,5	1,5	6
Барашек грубого движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	9
Барашек микромет рическ ого движения	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	10
Рукоятка	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5	0,5	1	5
								Σ=50

	Бар аше к	Предме тный столик	Винт	Стопорн ый винт	Рук оят ка	Приз ма	Плас тина	Итого
Барашек	1	0,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	8,5
Предметн ый столик	1,5	1	1,5	1,5	1,5	0,5	1,5	9
Винт	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1,5	5
Стопорн ый винт	0,5	0,5	1,5	1	1,5	0,5	1,5	7
Рукоятка	0,5	0,5	1,5	1,5	1	0,5	1,5	7
Призма	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5	9,5
Пластина	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	4
Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»								Σ=50

Продолжение таблицы 4.2.3

	Механизм нагружения (шток)	Оправка с алмазной пирамидой	Гирька	Рукоятка арретира	Осветитель	Светофильтры	Трансформатор	Винтовой окуляр-микрометр
Механизм нагружения (шток)	1	0,5	1,5	1,5	0,5	1,5	0,5	0,5
Оправка с алмазной пирамидой	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	0,5
Гирька	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1,5	0,5	0,5
Рукоятка арретира	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1,5	0,5	0,5
Осветитель	1,5	0,5	1,5	1,5	1	1,5	0,5	0,5
Светофильтры	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5
Трансформатор	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	1,5
Винтовой окуляр-микрометр	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	0,5	1
Итого								
Механизм нагружения (шток)			8,5					0,14
Оправка с алмазной пирамидой			9,5					0,16
Гирька			5,5					0,09
Рукоятка арретира			5,5					0,09
Осветитель			8,5					0,14
Светофильтры			5,5					0,09
Трансформатор			11,5					0,19
Винтовой окуляр-микрометр			10,5					0,17

4.2.3 Определение значимости функций

Определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям. Так, для основания $8/50=0,16$; колонны $7/50=0,14$; $5/50=0,1$; зажимного винта $6/50=0,12$; барашка грубого движения $9/50=0,18$; барашка микрометрического движения $10/50=0,2$; рукоятки $5/50=0,1$; барашка $8,5/50=0,17$; предметного столика $9/50=0,18$; винта $5/50=0,1$; стопорного винта $7/50=0,14$; рукоятки $7/50=0,14$; призмы $9,5/50=0,19$; пластины $4/50=0,08$; механизма нагружения (шток) $8,5/50=0,17$; оправки с алмазной пирамидой $9,5/50=0,19$; гирьки $5,5/50=0,11$; рукоятки арретира $5,5/50=0,11$; осветителя $8,5/50=0,17$; светофильтров $5,5/50=0,11$; трансформатора $11,5/50=0,23$; винтового окуляр-микрометра $10,5/50=0,21$ [40].

4.2.4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Таблица 4.2.4 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-часов	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.	Итого
Основание	1	Обеспечение устойчивости микротвердомера	0,21	0,2	34,6	27,4	40,1	102,1
Колонна	1	Обеспечивает перемещение кронштейна и тубуса	2	1,75	80,2	80,1	88	248,3
Гайка	1	Обеспечивает передвижение кронштейна и тубуса	0,67	0,9	73,6	25,5	75,8	174,6
Зажимной винт	1	Обеспечивает крепление кронштейна	0,78	0,34	67,1	24,7	69,2	161
Барашек грубого движения	1	Обеспечивает грубое движение тубуса	0,82	0,87	70,5	27,7	76,8	175
Барашек микрометрического движения	1	Обеспечивает микрометрическое движение тубуса	0,9	0,78	74,3	29	79,9	183,2
Рукоятка	1	Обеспечивает стопорение грубого движения тубуса	0,32	0,45	50,8	22,7	55,7	129,2
Барашек	1	Определяет высоту	0,25	0,5	45,1	26,7	48,9	120,7
Предметный столик	1	Обеспечивает установку рассматриваемого образца	1	1	50,2	29,7	55,7	135,6
Винт	1	Обеспечивает перемещение в двух взаимно перпендикулярных плоскостях столик	0,45	0,76	34,5	22,8	38,3	95,6

Продолжение таблицы 4.2.4

Стопорный винт	1	Обеспечивает стопорение столика	0,44	0,32	45, 2	32,4	50 ,1	127,7
Рукоятка	1	Обеспечивает поворот столика	0,34	0,44	42, 1	30,1	47 ,2	119,4
Призма	1	Обеспечивает исследование поверхностей цилиндрических предметов	0,78	0,56	56, 2	35,8	60 ,7	152,7
Пластина	1	Обеспечивает поместить предмет любой конфигурации	1	0,76	54, 2	44,1	59 ,7	158
Механизм нагружения (шток)	1	Обеспечивает необходимое нагружение	0,7	0,43	45, 7	34,9	50 ,1	130,7
Оправка с алмазной пирамидой	1	Обеспечивает нанесение укола на исследуемый объект	0,8	0,67	67, 2	45,5	72 ,9	185,6
Гирька	1	Обеспечивает необходимое усилие	0,45	0,62	43, 3	33,8	46 ,7	123,8
Рукоятка арретира	1	Обеспечивает опускание штока	0,32	0,67	46, 5	40,1	48 ,9	135,5
Осветитель	1	Обеспечивает освещение исследуемого предмета	0,8	0,9	57, 5	50,2	62 ,5	170,2
Светофильтры	1	Обеспечивают контрастность исследуемого предмета	0,25	0,31	45, 7	38,2	48 ,4	132,3
Трансформатор	1	Обеспечивает питание	1,57	1,2	67, 9	58,9	77 ,7	204,5
								Σ=316 5,7

4.2.5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально – стоимостной диаграммы (ФСД) (рис. 4.1).

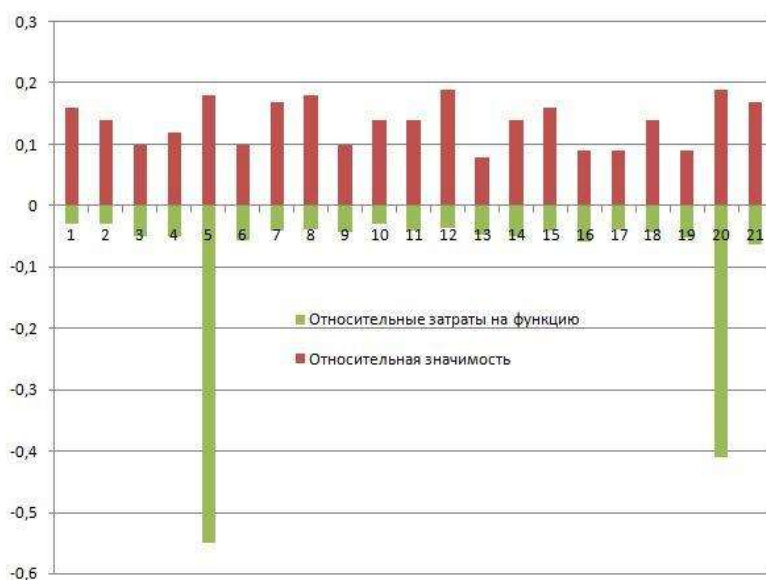


Рисунок 4.2.1 – Функционально-стоимостная диаграмма

Анализ, приведенный выше ФСД показывает явное наличие рассогласования по функциям 5, 20, которые являются: барашек грубого сечения и светофильтры. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций [34].

4.2.6 Оптимизация функций, выполняемых объектом

В качестве оптимизации данных функций можно выделить следующее:

- 1.применения принципиально новых конструкторских решений;
2. унификации сборочных единиц и деталей;
- 3.использование новых заготовок и материалов;
4. оптимизация параметров надежности

4.3 SWOT – анализ

В этом разделе необходимо выявить сильные и слабые стороны научного проекта, а также возможности и угрозы для его дальнейшей реализации.

Сильные стороны проекта.

Во-первых, научное исследование является фундаментальным, на сегодняшний день, согласно обзору литературных источников, мало работ, занимающихся исследованием мартенситно-стареющих сталей в процессе вакуумно–электронно лучевой наплавки и как это влияет на упрочнение материалов. На сегодняшний день очень много времени затрачивается на механическую обработку наплавленных материалов, которая сопровождается по окончании чистовым шлифованием.

Во-вторых, результаты исследования могут быть применены в оборонной промышленности, в оборонной промышленности, авиастроение и многом другом, что поможет увеличить характеристики материалов и уменьшить затрачиваемое время на изготовление.

Слабые стороны проекта.

Электронно-лучевая наплавка покрытий осуществлялась на специальной установке, разработанной на базе промышленного сварочного электронно-лучевого оборудования одной возможной угрозой является выход из строя установки, например, поломка труднодоступных и дорогостоящих элементов.

Конкуренция, на сегодняшний день состоит только в том, что уже существуют методы наплавки не с мартенситностареющими сталями, на которые прописаны технологические процессы и по которым уже работают, но если продолжиться исследовательская работа в этом направлении, то это приведёт к несомненному развитию и Результаты данного исследования будут широко применяться в производстве

С уверенностью можно сказать, что все сильные стороны проекта оказывают очень сильное влияние на возможность его успешного завершения и последующего внедрения в производство. А именно такие сильные стороны как:

фундаментальность исследования, финансовая поддержка, практическое внедрение результатов исследования в производство.

Таблица 4.3.1 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
	С1. Финансирование из государственного бюджета.	Сл1. Дорогостоящее использование электронного промышленного сварочного электронно-лучевого оборудования
	С2. Фундаментальность исследования.	
	С3. Возможность практического внедрения результатов исследования в высокопроизводительное Авиастроительное производство	Сл2 Замена труднодоступных и дорогостоящих элементов
Возможности:	Поддержка со стороны СО РАН очень сильно скажется на продвижении исследования и ускорит темпы внедрения результатов исследования в производство	Помощь СО РАН может выражаться в уменьшении стоимости пользования установкой до той величины, которую сможет финансировать государственный бюджет для данного исследования
В1. Заключение соглашения между НИ ТПУ и СО РАН о взаимной помощи в этом исследовании.		
В1. Приобретение дополнительного оборудования в ИШНКБ ТПУ: РЭМ и ПЭМ, которое может приносить прибыль.		

Продолжение таблицы 4.3.1

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Закрытие проекта в связи с нехваткой финансов и материальной базы (специального оборудования) для проведения исследования.</p> <p>У2. Выход из строя труднодоступных и дорогостоящих элементов оборудования.</p>	<p>Государство заинтересовано в развитии науки и всё больше средств вкладывать в финансирование научной деятельности. Чем быстрее результаты исследования будут внедрены в производство, тем быстрее исчезнут факторы, угрожающие развитию исследования. В дальнейшем возможна заинтересованность производственной стороны в финансировании проекта и его развития.</p>	<p>На данный момент слабые стороны связаны с выходом из строя дорогостоящих элементов оборудования, нехваткой финансов для проведения исследования.</p>
--	---	---

4.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации

В данном разделе проводится оценка текущего исследования и степень его готовности к коммерциализации, а также определение уровня собственных знаний для его проведения. Специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта показана в таблице 4.4.1.

Таблица 4.4.1 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/ п	Наименование	Степень проработанность и научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	2	3
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	4
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	3
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	3
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1

Продолжение таблицы 4.4.1

12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной Разработки	4	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	4
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
	ИТОГО БАЛЛОВ	51	52

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению; B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 59 до 45 – то перспективность выше среднего.

Для успешной коммерциализации текущей разработки необходимы небольшие объемы инвестиции в области маркетинговых исследований, детальная проработка вопросов международного сотрудничества с привлечением специалистов из данной отрасли в команду проекта и повышение уровня компетенций разработчика в области маркетинговых исследований рынков сбыта. По результатам оценки готовности научного проекта к коммерциализации его перспективность выше среднего.

4.5 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности.

Методом коммерциализации результатов научно-технического исследования является –передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Заинтересованными лицами в полученных данных будут являться сотрудники ИШНKB ТПУ. Исследование особенностей структуры мартенситно-стареющей стали в процессе наплавки вакуумной электронно–лучевой наплавки.

4.6 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [34].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [34].

Устав научного проекта магистерской диссертации имеет структуру, представленную ниже [34].

1) Цели и результат проекта. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 4.6.1.

Таблица 4.6.1– Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Оборонная Промышленность	Исследование позволит получить данные, которые помогут провести углубленный анализ структуры мартенситно–старееющих сталей в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки.
Авиапромышленность	

В таблице 4.6.2 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 4.6.2 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Исследование особенностей мартенситно-старееющих сталей в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки
Ожидаемые результаты проекта:	Получение экспериментальных результатов микротвердости мартенситно-старееющих сталей в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки.
Критерии приемки результата проекта:	Получение четких результатов микросъёмки для проведения анализа
Требования к результату проекта:	Требование: Выполнение поставленных задач Научное объяснение результатов экспериментов Заключение о результатах исследования

2) Организационная структура проекта. Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (таблица 4.6.3).

Таблица 4.6.3 – Рабочая группа проекта

п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Гнюсов С.Ф., д.т.н., профессор ИШНКБ ТПУ	Руководитель	Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта
2	Зубков М. С магистрант ИШНКБ ТПУ	Исполнитель	Выполнение экспериментальной части

3) Ограничения и допущения проекта.

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 4.6.4. – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1. Источник Финансирования	Финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	20.02.2019
3.2.2. Дата завершения проекта	

4.7 Планирование управления проектом

4.7.1 Структура работ в рамках научного исследования

Научное исследование будет состоять из четырех основных этапов, таких как: разработка технического задания и календарного плана, теоретическая подготовка, экспериментальные исследования и обобщение и оценка результатов по данной теме. Каждый этап содержит перечень важных работ, которые необходимо выполнить. В зависимости от вида работ будет свой исполнитель.

Таблица 4.7.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	Научный руководитель
	2	Составление предварительного плана ВКР	Научный руководитель
Теоретическая подготовка	3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Инженер
	4	Изучение и выбор метода исследований в ВКР	Инженер
	5	Написание теоретической части ВКР	Инженер
	6	Подбор оборудования и заготовок для проведения процесса	Научный руководитель
Экспериментальные исследования	7	Наплавление металла на заготовки	Инженер
	8	Получение результатов исследования	Инженер
	9	Создание базы данных исследования	Инженер
	10	Анализ базы исследования/получения результатов	Научный руководитель Инженер

Продолжение таблицы 4.7.1

Обобщение и оценка результатов	11	Оформление итогового варианта ВКР	Инженер
	12	Согласование и проверка работы с научным руководителем	Научный руководитель, Инженер

Таким образом, выделили основные этапы работ и их содержание, а также исполнителей, выполняющие данные работы.

4.7.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого значения трудоемкости используем формулу

$$t_{oti} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (2)$$

где t_{oti} – ожидаем трудоемкость выполненной i -й работы чел. - день.

t_{mini} – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -го работы (оптимистическая оценка в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.

t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. -дн

После того, как рассчитали t_{oti} , рассчитывается продолжительность каждой работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{Ч_i} \quad (3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. Дн;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Составление предварительного плана ВКР:

$t_{maxi} = 3$ дня; $t_{mini} = 1$ день.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{3 + 6}{5} = 1,5 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{оті}}{Ч_i} = \frac{1,4}{1} = 1,4 \sim 2 \text{ дня;}$$

Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР:

$t_{maxi}=14$ дней; $t_{mini}=7$ дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 28}{5} = 9,8 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{оті}}{Ч_i} = \frac{9,8}{2} = 4,9 \sim 5 \text{ дня;}$$

Изучение и выбор метода исследований в ВКР:

$t_{maxi}=14$ дней; $t_{mini}=10$ дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{30 + 28}{5} = 11,6 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{оті}}{Ч_i} = \frac{11,6}{2} = 5,8 \sim 6 \text{ дня;}$$

Написание теоретической части ВКР:

$t_{maxi}=21$ день $t_{mini}=14$ дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{42 + 42}{5} = 16,8 \text{ дня;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{оті}}{Ч_i} = \frac{16,8}{1} = 16,8 \sim 17 \text{ дней;}$$

Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента

$t_{maxi}=12$ день $t_{mini}=7$ дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 24}{5} = 9 \text{ дней;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{оті}}{Ч_i} = \frac{9}{2} = 4,5 \sim 5 \text{ дней;}$$

Получение результатов исследования и создание базы данных исследования

$t_{maxi}=14$ день $t_{mini}=7$ дней.

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 28}{5} = 9,8 \text{ дней;}$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{q_i} = \frac{9,8}{1} = 9,8 \sim 10 \text{ дней};$$

Анализ базы исследования/полученных результатов

$t_{maxi}=21$ день $t_{mini}=7$ дней.

$$t_{oji} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} = \frac{21 + 42}{5} = 29,4 \text{ дня};$$

$$T_{pi} = \frac{t_{oti}}{q_i} = \frac{29,4}{2} = 14,7 \sim 15 \text{ дней};$$

4.7.3 Разработка графика проведения научного исследования

Для разработки графика проведения научного исследования будет использована диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} * k_{\text{кал}} , \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях; $k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{кал}} - T_{\text{пр}}}$$

где $T_{\text{кал}} = 365$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}} = 104$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}} = 14$ – количество праздничных дней в году.

$$k_{\text{кал}} = \frac{365}{365 - 104 - 14}$$

Все рассчитанные значения вносим в таблицу 14, после заполнения таблицы построим календарный план-график (таблица 4.4.1).

График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделим различной штриховкой в зависимости от исполнителей.

Таблица 4.7.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	tmin, чел-дни		tmax, чел-дни		$t_{ожi}$, чел-дни					
	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж	Руководитель	Инж
Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	3	-	5	-	3,8	-	4	-	6	-
Составление предварительного плана ВКР	1		3		1,4	-	2	-	2	-
Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	7	7	14	14	9,8	9,8	5	5	4	12
Изучение и выбор метода исследований в ВКР	10	10	14	14	11,6	11,6	6	6	2	21
Написание теоретической части ВКР	-	14	-	21		16,8	-	17	-	17
Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента	7	7	12	12	9	9	5	5	5	5
Проведение эксперимента	7	7	12	12	9	9	-	10	-	10
Получение результатов исследования	-	7	-	14	-	9,8	-	10	-	10
Создание базы данных исследования	-	7	-	14	-	9,8	-	10	-	10,5
Анализ базы исследования/полученных результатов	7	7	21	21	29,8	29,8	5	25	10	35
Оформление итогового варианта ВКР	-	10	-	21		14,4	-	14	-	21
Согласование и проверка работы с научным руководителем	2	2	4	4	2,8	2,8	1	1	1,5	1,5

Таблица 4.7.3 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ раб от	Вид работ	Исполнители	Ткi, кол .Дн	Продолжительность выполнения работ														
				Январь			Феврал ь			Март			Апрел ь			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор темы, постановка цели и задач ВКР	Научный руководитель	6		▨													
2	Составление предварительного плана ВКР	Научный руководитель	2		▨													
3	Подбор и первоначальное ознакомление с литературой по теме ВКР	Научный руководитель, Инженер	4 12			▨ ▨▨▨												
4	Изучение и выбор метода исследований в ВКР	Научный руководитель, Инженер	2 21				▨ ▨▨▨▨▨▨▨											
5	Написание теоретической части ВКР	Инженер	17						▨▨▨▨▨▨▨▨▨									
6	Подбор оборудования и заготовок для проведения эксперимента	Научный руководитель, Инженер	5 5									▨ ▨						
7	Проведение эксперимента	Инженер	10									▨▨▨▨						
8	Получение результатов исследования	Инженер	10										▨▨▨▨					
9	Создание базы данных исследования	Инженер	10, 5											▨▨▨				
10	Анализ базы исследования / получение результатов	Научный руководитель, Инженер	10 35													▨▨▨▨▨▨▨▨▨		
11	Оформление итогового варианта ВКР	Инженер	21													▨▨▨▨▨▨▨▨▨		
12	Согласование и проверка работы с научным руководителем	Научный руководитель, Инженер	1,5															▨ ▨

Где научный руководитель - ▨ Инженер - ▨▨▨

4.8 Бюджет научного исследования. Затраты на материалы и эксперименты

Затраты на проведение научного исследования приведены в таблице 4.8.1

Большие затраты потребовались для проведения испытаний на электронном ускорителе, также довольно затратное обошлись услуги растровой электронной микроскопии РЭМ, которая необходима была для проведения исследования[36].

Стоимость оборудования, используемого при выполнении НИР, имеющегося на кафедре отделения химической инженерии стоимостью свыше 40 тыс. рублей, учитывалось в виде амортизационных отчислений. В данном случае выбран линейный способ амортизации оборудования, при котором происходит равномерное начисление амортизации с первоначальной до остаточной стоимости (в конце срока службы) в течение всего срока использования. Текущая остаточная стоимость определяется вычитанием суммарной накопленной амортизации основного средства из первоначальной стоимости.

Формула амортизации оборудования для определения ежемесячной суммы (М):

$$\sum M = ПС * n, \quad (5)$$

где ПС – первоначальная стоимость оборудования;

n – ежемесячная норма амортизации, рассчитываемая как отношение 1 к сроку полезного использования, выраженному в месяцах.

Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования» представлена в таблице 4.8.1.

Таблица 4.8.1 - Расчет затрат по статье «Амортизация оборудования»

Наименование оборудования	Цена оборудования, руб.	Количество лет эксплуатации	Амортизация, руб.
Растровый электронный микроскоп (РЭМ) <i>OLYMPUS GX51</i>	1200000	8	12500

Таблица 4.8.2 – Затраты на сырье на проведение НИР

Наименование	Затраты, руб.
Материалы	1000
Алмазные пасты	1500
Итого:	2500

4.9 Расчет фонда заработной платы

Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом [36].

Для техника (дипломника) месячный оклад составляет $З_{бт}=13150$ руб/мес, для руководителя (профессора с ПКГ ППС 4) - $З_{бп}=33162$ руб/мес.

Заработная плата рассчитывается по формуле 6 [35]:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (6)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле 7[36]:

$$Z_{осн} = Z_{дн} * T_{раб}, \quad (7)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{р}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.,

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневную заработную плату можно рассчитать по формуле [36]:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м}}{T} \quad (8)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

T – количество рабочих дней в месяце. Принимаем 6- дневную рабочую систему, значит $T=26$ дней.

Месячный должностной оклад работника [37]:

$$З_м = З_б * k_p, \quad (9)$$

где $З_б$ – базовый оклад, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Теперь рассчитываем месячную заработную плату работников проекта:

$$З_{мт} = 13150 \cdot 1.3 = 17095 \text{ руб.};$$

$$З_{мп} = 33162 \cdot 1.3 = 43110.6 \text{ руб.}$$

Определяем среднедневную заработную плату:

$$З_{дн.т} = \frac{17095}{26} = 657,5 \text{ руб.};$$

$$З_{дн.п} = \frac{43110.6}{26} = 1658.1 \text{ руб.}$$

Основную заработную плату определим с допущением, что на данный проект его работники затратили 100 полных рабочих дней (8 часов в день)

$$З_{осн.т} = 657,5 \cdot 100 = 65750 \text{ руб.};$$

$$З_{осн.п} = 1658.1 \cdot 100 = 165810 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10–15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы [36]

$$З_{доп} = k_{доп} * З_{осн}, \quad (10)$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $З_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

Принимаем коэффициент дополнительно зарплаты равным 0,1 и получаем:

$$З_{доп.т} = 0.1 * 65750 = 6575 \text{ руб.};$$

$$З_{доп.п} = 0.1 * 165810 = 16581 \text{ руб.};$$

Итак, определяем полную зарплату работников:

$$С_{зпт} = 65750 + 6575 = 72325 \text{ руб.};$$

$$С_{зпп} = 165810 + 16581 = 182391 \text{ руб.}$$

Также необходимо рассчитать отчисления во внебюджетные фонды (социальные нужды) по формуле 11[42]:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Принимаем $k_{\text{внеб}} = 0.302$.

$$C_{\text{внеб.т}} = 0.302 \cdot 72325 = 21842,15 \text{ руб.};$$

$$C_{\text{внеб.п}} = 0.302 \cdot 182391 = 55082.082 \text{ руб.}$$

Накладные расходы возьмем не более 16% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 12 [35]:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов. Принимаем $k_{\text{накл}} = 0.8$

$$C_{\text{накл.т}} = 0.16 \cdot 231560 = 37049,6 \text{ руб}$$

Результаты расчета фонда заработной платы представлены в таблице

4.8.1

Таблица 4.8.1– Фонд заработной платы

Исполнитель	Число исполнителей	Трудовое количество выполнения работы Тисп,д	Заработная плата по тарифной ставке руб./мес.	Среднедневная заработная плата, руб	Основная заработная плата исполнителя ЗП осн,руб.	Месячный должностной оклад, руб
Дипломник (техник)	1	100	13150	657,5	65750	17095
Руководитель (профессор)	1	100	33162	1658.1	165810	43110.6
Итого:	2	200			231560	

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Таблица 4.8.2 - Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1.Материальные затраты НТИ	2500
2. Затраты на амортизацию оборудования	12500
2.Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	231560
3.Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23156
4. Отчисления на социальные нужды	36508,6
5. Накладные расходы	37049,6
6.Бюджет затрат НТИ	343274,2

Бюджет научного исследования, который включает материальные затраты, затраты по основной и дополнительной заработной плате, амортизацию оборудования и отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы и составил 343274,2 руб.

4.9 Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования

4.9.1 Оценка сравнительной эффективности проекта

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Получив достоверные результаты исследования сравниваем материал до старения и после, для этого посмотрим на график образца 972 до старения и 972с после старения. В первом случае $HV = 5922 \pm 405$ МПа, после старения $HV = 4644 \pm 470$ МПа

В нашем эксперименте экономия будет связана с резким уменьшением затрат на механическую обработку наплавленного изделия. К примеру, распредвал, который после наплавки коренных и шатунных шеек подвергается механической обработке и чистовой шлифовки в то время как Механическая обработка и шлифовка для мартенситностареющей наплавленной стали будет менее затратной с точки зрения экономии дорогостоящего инструмента (резцов и алмазных кругов) и время обработки будет в разы меньше, т.к. после окончательной механической обработки необходимо провести старение и деталь готова к эксплуатации, в то время как для обычной наплавки требуется механическая обработка чистовая обработка с использованием дорогостоящих инструментов.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. В нашем исследовании мы можем рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [35]:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (13)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i – балльная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже. В текущем исследовании применялась мартенситно - стареющая сталь при вакуумно - электронно лучевой наплавки, в нашем случае для исследования мы измеряем твердость по Виккерсу. В качестве аналогов для проведения эксперимента рассмотрим существующую измерение твердости по Бринелю (аналог 1) и Роквеллу (аналог 2).

Таблица 4.4.1– Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сложность точной постановки эксперимента	0.4	5	4	2
2. Удобство в эксплуатации	0.1	5	5	2
3. Энергосбережение	0.15	3	2	1
4.Безопасность	0.15	3	3	2
5. Стоимость эксперимента	0.2	4	3	2
ИТОГО	1			

По формуле 13 и данным таблицы 19 рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности.

$$I_m^p = 0.4 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.15 \cdot 3 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 4 = 4.2;$$

$$I_m^{a1} = 0.4 \cdot 5 + 0.1 \cdot 5 + 0.15 \cdot 2 + 0.15 \cdot 3 + 0.2 \cdot 3 = 3.85;$$

$$I_m^{a2} = .4 \cdot 2 + 0.1 \cdot 2 + 0.15 \cdot 1 + 0.15 \cdot 2 + 0.2 \cdot 2 = 1.85.$$

где I_m^p – интегральный показатель текущего проекта, I_m^{a1} – интегральный показатель аналога 1, I_m^{a2} – интегральный показатель аналога 2

Из расчётов наглядно видна ресурсоэффективность установки, на которой были проведены эксперименты настоящего исследования.

Из таблицы видно, что для текущего исследования коэффициенты энергосбережения и стоимости эксперимента выше, чем у аналогов. Из этого можно сделать вывод, что интегральный финансовый показатель будет меньше, чем у аналогов исследования. А значит, на данное исследование был израсходован бюджет, величина которого могла быть больше при проведении исследований с помощью аналогов.

Выводы по разделу

В ходе выполнения данного раздела выпускной квалификационной работы был проведен технико-экономический анализ исследования особенности структуры мартенситностареющих сталей при вакуумно электроно - лучевой наплавке. Целевой рынок результатов исследования будет включать в себя все отрасли промышленности, нуждающиеся в высокой износоустойчивости, прочности, и сравнительно дешёвой механической обработки.

Результаты исследования могут найти практическое применение на объектах оборонной промышленности и тяжелого машиностроения.

Построена интерактивная матрица SWOT-анализа, в которой показаны слабые и сильные стороны для разрабатываемого проекта.

Сделан план исследования, в котором распределялись основные функции проекта между руководителем и дипломником и сделан расчет бюджета научного исследования, в который вошли расходы на материалы и оборудование, а также заработные платы участников проекта.

По оценке ресурсоэффективности проекта, можно сделать выводы, что для текущего исследования коэффициенты энергосбережения и стоимости

эксперимента выше, чем у аналогов. Из этого можно сделать вывод, что интегральный финансовый показатель будет меньше, чем у аналогов исследования. А значит, на данное исследование был израсходован бюджет, величина которого могла быть больше при проведении исследований с помощью аналогов.

Рассчитан бюджет научного исследования, который включает материальные затраты, затраты по основной и дополнительной заработной плате, отчисления во внебюджетные фонды и накладные расходы и составил 343274,2 рублей.

5 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрено исследование формирования структуры мартенситно-стареющей стали в процессе вакуумной электронно-лучевой наплавки, данный эксперимент проводится в офисных помещениях 16а корпуса НИТПУ. В ходе научного основная часть работы была выполнена с использованием ЭВМ, поэтому в данном разделе ВКР рассматриваются вопросы анализа и выявления возможных опасных и вредных факторов на рабочем месте инженера-лаборанта. Площадь занимаемого помещения составляет 40 м², на которых располагаются 6 человек.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание и охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

5.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды

Вредным производственным фактором называется такой производственный фактор, воздействие которого на работающего человека в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. В результате идентификации выявлены следующие вредные производственные факторы:

- электромагнитные поля в производственных помещениях;
- производственный шум;
- освещенность рабочей зоны;
- микроклимат в помещении.

5.1.1 Электромагнитные поля в производственных помещениях;

Основным вредным фактором является электромагнитное поле (ЭПМ). Находясь в электромагнитном поле, человек поглощает его энергию, в тканях возникают высокочастотные токи с образованием теплового эффекта.

Биологическое действие электромагнитного излучения зависит от длины волны, напряженности поля, длительности и режима воздействия. При воздействии на человека электромагнитного поля возникают нарушения электрофизиологических процессов в центральной нервной и сердечно-сосудистой системах. Функций щитовидной железы, генеративной функции организма.

Основными источниками электромагнитного излучения во время разработки проекта были электронный ускоритель, ЭВМ.

Согласно [37], временные допустимые уровни ЭМП, создаваемых ПЭВМ, составляют:

- напряженность электрического поля в диапазоне частот 5 Гц - 2кГц – 25 В/м;

– напряженность электрического поля в диапазоне частот 2 кГц – 400кГц – 2,5 В/м;

– плотность магнитного потока в диапазоне частот 5 Гц – 2кГц – 250 нТл;

– плотность магнитного потока в диапазоне частот 2 кГц – 400кГц – 25 нТл;

– электростатический потенциал экрана видеомонитора – 500 В.

ПДУ для ЭМИ:

- при напряженности эл.маг. поля 10 мкpВт/см² – время контакта – 8 час;

- при 10-100 мкpВт/см² – не более 2 часов;

- при 100-1000 мкpВт/см² не более 20 минут;

Для населения – 1 мкpВт/см²

Основным коллективным средством защиты от воздействия ЭМП является экранирование источника электромагнитного излучения или же объекта защиты. При возможности эффективной защитой является удаление источника излучения из рабочей зоны. В качестве средств индивидуальной защиты, при значительном действии электромагнитного поля, используют одежду, которая изготавливается из металлизированной ткани или другой ткани с высокой электропроводностью. Ограничение времени пребывания в зоне действия ЭПМ так же является эффективной защитой.

К средствам защиты от статического электричества и электрических полей промышленной частоты относят комбинезоны, очки, спец обувь, заземляющие браслеты, заземляющие устройства, устройства для увлажнения воздуха, антиэлектростатические покрытия и пропитки, нейтрализаторы статического электричества.

В процессе выполнения научного исследования не были превышены нормы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)[37].

5.1.2 Производственный шум

Шум является общебиологическим раздражителем и в некоторых условиях может оказывать влияние на системы организма человека. Шум на рабочем месте инженера-лаборанта возникает от работы ПК, а также может проникать извне. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению.

Интенсивный шум вызывает изменения сердечно-сосудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик стационарных машин изложены в межгосударственном стандарте ГОСТ 12.1.003-2014 "Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности"[38].

Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в дБ, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, для офисных помещений уровень звукового давления должен не превышать 82 дБА (по СанПиН 3359-16) [39].

Дополнительные средства для коллективной защиты (СКЗ) от шума извне могут служить современные пластиковые окна и шумоизоляционные панели стен.

Сама панель – это многослойная конструкция (триплекс). Сам ее каркас выполнен из композита на основе натуральных целлюлозных волокон. Плоские слои разделены пространством, которое обеспечивают волнообразные переемычки, по типу гофрированного картона. Все пустоты внутри панели заполнены минеральным гранулам на базе очищенного кварцевого песка

Шум от работы ПК можно понизить, используя малошумные вентиляторы охлаждения, либо водяное охлаждение системного блока.

В качестве средств индивидуальной защиты(СИЗ) можно использовать не дорогие шумопоглощающие наушники.

5.1.3 Освещенность рабочей зоны

Освещение рабочего места – важный фактор создания нормальных условий труда. Согласно СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [40], рабочее место инженера должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение попадает в аудитории через большое окно в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное освещение отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Слабая освещенность рабочего места инженера не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с нормативной работой и технической документацией согласно действующим нормам СП 52.13330.2016 [40] для искусственного освещения регламентирована наименьшая допустимая освещенность, а для естественного и совмещенного определены коэффициенты естественной освещенности (КЕО).

Нормативное значение КЕО для третьего пояса светового климата (расположение города Томска) в соответствии с СП 52.13330.2016 [40] при третьем разряде зрительной работы (III г: контраст малый и средний, фон - светлый и средний), при естественном боковом освещении КЕО, $e_n = 1,2 \%$, освещенность при искусственном освещении – 200 лк, ослепленность 40 ед. и пульсации искусственного освещения не более 15 %. Рекомендуемая освещенность для работы с экраном дисплея составляет 200 лк, а при работе с

экраном в сочетании с работой с документами 400 лк согласно СП 52.13330.2016 [40].

Для анализа освещенности на рабочем месте инженера-лаборанта представленного на рисунке 5.1,

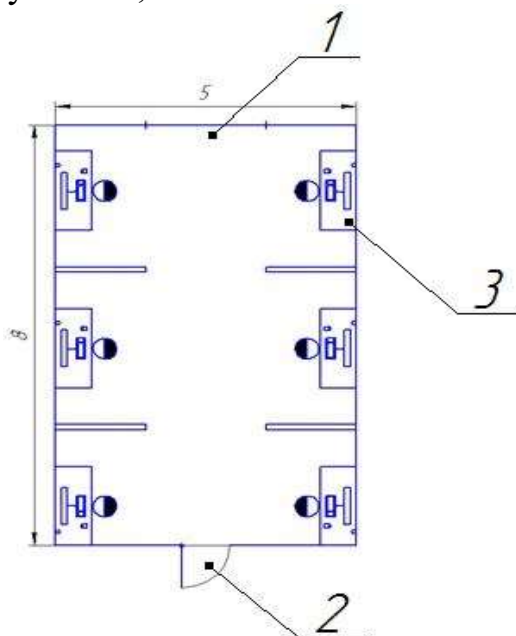


Рисунок. 5.1 – Схема рабочего места, где поз.1 окно, поз.2 дверь, поз.3 рабочее место

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. [41]

Для расчёта принимаем что длина помещения $A=5$ м, а ширина $B=8$ м, высота $H=3,5$ м. Высота рабочей поверхности $h_p = 0,8$ м. Требуемая освещенность по СНиП 23-05- 95 $E= 400$ лк.

Коэффициент отражения стен $R_c = 50 \%$, потолка $R_p = 70 \%$. Коэффициент запаса $k=1.5$, коэффициент неравномерности $Z= 1.1$

Рассчитаем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильник типа ОД, $\lambda = 1,4$. принимаем высоту подвеса светильника от уровня потолка $h_c= 0,2$ м; получаем высоту подвеса светильника над расчетной поверхностью $h = 3.5-0.8-0,2=2,5$ м;

Определим расстояние между рядами светильников, используя соотношение:

$$L = \lambda * h \quad (14)$$

$$L = 1.4 * 2.5 = 3.5 \text{ м},$$

При ширине помещения $A = 5$ м, получаем число рядов светильников:

$$n = A/L = 5/3.5 = 1.4 \sim 2 \quad (15)$$

Определим число светильников в одном ряду:

$$N_p = (B - 2l) / l_{\text{св}}, \quad (16)$$

где $l_{\text{св}}$ – длина светильника, для светильника типа ОД–2–40 $l_{\text{св}} = 1,23$ м.

$$N_p = (8 - 2 * 1.17) / 1.23 = 4.6 \sim 4,$$

Таким образом, общее число светильников N :

$$N = N_p * n \quad (17)$$

$$N = 4 * 2 = 8.$$

Размещаем светильники в два ряда. В каждом ряду можно установить 4 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1230 мм и шириной 266 мм), при этом разрывы между светильниками в ряду составят от 50 до 500 см. Изображаем в масштабе план помещения и размещения на нем светильников (рис. 4). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 8 * 2 = 16$.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = S / h(A + B). \quad (18)$$

$$i = 40 / [2.5 * (5 + 8)], = 1.23.$$

Расчетным уравнением метода коэффициента использования светового потока является [41];

$$\Phi = \frac{E_n * S * K_z * Z}{N * \eta}, \quad (19)$$

По таблицам [41] определяем коэффициент использования светового потока для данной формулы $\eta = 0,53$;

Отсюда получаем:

$$\Phi = \frac{400 * 40 * 1,5 * 1,1}{16 * 0,53} = 3113 \text{ лм}, \quad (20)$$

Определяем потребный световой поток ламп в каждом из рядов:

По табл. 1 выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛБ 40 Вт с потоком 3200 лм. Делаем проверку выполнения условия:[41]

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{ст}} - \Phi_{\text{расч}}}{\Phi_{\text{ст}}} * 100\% \leq +20\% \quad (21)$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки

$$-10\% \leq \frac{3200 - 3113}{3200} * 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 2.7\% \leq +20\%$$

Потребляемая мощность осветительной установки составит:

$$P = 16 * 40 = 640 \text{ Вт}.$$

Таким образом, выбранная система освещения обеспечивает требуемую освещенность рабочего места. К дополнительным мерам, можно отнести использование местного освещения на рабочих местах (настольные лампы).

Для схематического изображения размещения светильников необходимо рассчитать расстояние вдоль стен и от торца помещения:

$$L = N_a * L_1 + 2/3 * L_1 + N * L_{\text{лам}};$$

$$L_1 = \frac{L - N * L_{\text{лам}}}{N_a + \frac{2}{3}};$$

$$L_1 = \frac{8000 - 4 * 1230}{3 + \frac{2}{3}} \sim 840 \text{ мм}; \text{ — расстояние вдоль помещения}$$

$$L_1 = \frac{5000 - 2 * 266}{1 + \frac{2}{3}} \sim 2000; \text{ мм — расстояние от торцов}$$

Составим уравнение с 1 неизвестной

$$5000 = L_1 + 2/3 * L_1 + 2 * 266;$$

$$8000 = 3 * L_2 + 2/3 * L_2 + 4 * 1230;$$

Отсюда:

$$5000 - 2 * 266 = L_1 * (1 + 2/3);$$

$$8000 - 4 \cdot 1230 = L2 \cdot (3 + 2/3);$$

Следственно получаем уравнения:

$$L1 = \frac{8000 - 4 \cdot 1230}{3 + \frac{2}{3}} = 832 \text{ мм} ; - \text{ расстояние от торцов помещения}$$

$$L2 = \frac{5000 - 2 \cdot 266}{1 + \frac{2}{3}} = 2630; \text{ мм} - \text{ расстояние вдоль помещения}$$

расстояние от торцов – l:

$$l1 = 832 / 3 = 277 \text{ мм}$$

$$l2 = 2630 / 3 = 877 \text{ мм}$$

Размещаем светильники в 2 ряда по 4 светильника. На рисунке изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

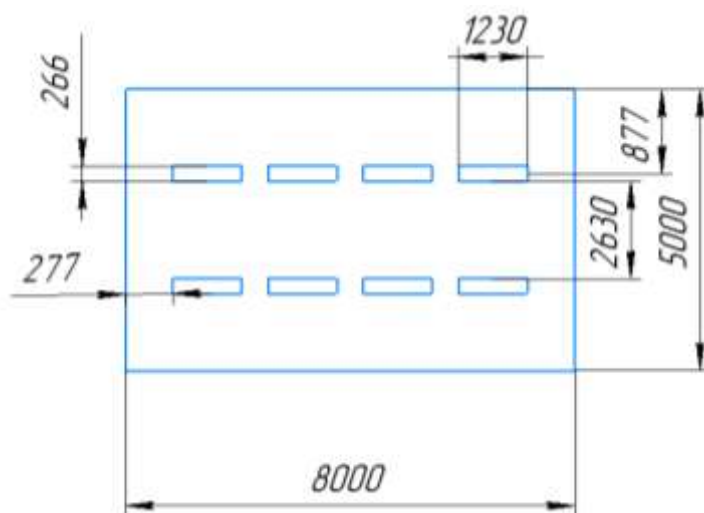


Рисунок 5.2 – План размещения светильников с люминесцентными лампами., размеры установлены в мм

5.1.4. Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещения, который определяется влияющими на человека сочетаниями температуры, влажности и скорости перемещения воздуха, а также температуры окружающих предметов ГОСТ Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда [42]. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие

санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны [43], оптимальные микроклиматические условия создают общее и локальное ощущение теплового комфорта во время восьми часового рабочего дня, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают условия для высокой производительности труда.

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны отвечать ГОСТ 12.1.005-88 [43]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости перемещения воздуха приведены в таблице 1.1[43].

Таблица 5.1– Требования к микроклимату [43]

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	средняя	19 – 22	40 - 65	≤ 0.2
Теплый	средняя	15 - 28	20 - 75	≤ 0.5

В нашем случае рассматривается рабочий кабинет размерами 8х5 м, как показано на рисунке 1.1, высота кабинета 3,5 м.

Согласно, установленным размерам рабочего кабинета в нем располагается 6 человек. Объем помещения 140 м³, общая площадь 40 м², тогда на одного человека приходится 23,3 м³ и 6,7 м², соответственно, что удовлетворяет санитарным требованиям помещения.

Объем и площадь производственного помещения, которые должны приходиться на каждого работающего, по санитарным нормам – 20 м³ и 6,5 м², соответственно. Высота помещения должна быть не менее 3 м [43].

Для категории работ I(б), к которым относится работа лаборанта, характерны такие работы, интенсивность энерго-затрат которых равна 121– 150 ккал/ч (140–174 Вт), это работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторыми физическими напряжениями.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года применяется водяное отопление, а в теплый период года

для обеспечения защиты от попадания прямых солнечных лучей применяются жалюзи.

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена с использованием механической приточно-вытяжную вентиляции, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и трубопроводов.

Во время исследования мартенситно-стареющей стали в 16а корпусе ТПУ микроклимат отвечал нормам изложенным в таблице 1.1

Микроклимат аудиторий поддерживается на необходимом уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

5.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

5.2.1 Факторы электрической природы

Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [44].

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.

2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим

соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и до 1000 В при наличии двух и более из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям

Комната, в которой выполнялась работа, относится к категории помещений без повышенной опасности, поскольку она характеризуется следующими признаками: температура воздуха и влажность в норме, а также электрооборудование и электрические сети выполнены в соответствии с «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) и оборудование используемое в помещении и там преобразуется входящее переменное напряжение в постоянный ток напряжением +3,3 В, +5 В, +12 В Но в процессе деятельности с ЭВМ, работающим от источника тока, может возникнуть опасность поражения электрическим током. Основными причинами этого могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к металлическим конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. Для предотвращения опасности поражения электрическим током следует соблюдать правила электрической безопасности:

- перед включением ЭВМ в сеть, необходимо визуально проверить ее электрическую часть, на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие токопроводящих частей на корпусе компьютера;

- рабочее место инженера с ЭВМ не должно быть размещено вблизи силовых кабелей и высоковольтных трансформаторов;

- ЭВМ подключается через блок питания или питающее устройство,

которые имеют сетевой фильтр, конденсаторы которого предназначены для шунтирования через провод зануления, и соответствующие трехполосные вилку и розетку высокочастотных помех питающей сети на землю;

- при выявлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической цепи ЭВМ;

- запрещается подключать корпус ЭВМ к батареям отопления, т.к.

при неисправности источника питания ЭВМ батареи могут оказаться под напряжением;

- запрещается при работающей ЭВМ в то же время прикасаться к приборам, имеющим естественное заземление.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, малые напряжения, электрозащитные средства.

В корпусе 16а ТПУ используются следующие защитные меры от поражения электрическим током при работе с электроустановками:

- защитное заземление – предназначено для предотвращения

«замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током);

- зануление при замыкании на корпус электроустановок – отключение участка электрических цепей;

- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;

- защитное разделение сетей;

- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, старше 18 лет, изучившие инструктаж и обученные безопасным приемам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно

каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

Сейчас безопасным для человека считается напряжение электрической сети 42 Вольт (до недавнего времени – было 36 В), использующееся для переносных осветительных и бытовых приборов на воздухе и в доме и 12 Вольт, при условии использования переносных светильников и приборов внутри котлов, металлических резервуаров и пр.

Допустимым же для человека током принято считать силу тока, при которой он самостоятельно может освободиться от его воздействия.

Допустимый $I = 0.1$ А, а $R_{\text{заземления}}$ – не более 4 ом.

Максимально допустимая величина тока, проходящего через тело человека, зависит от времени его воздействия. Для тока переменного, с его частотой 50 Гц допустимое напряжение прикосновения по ГОСТ12.1.038-82 составляет всего 2 В, а сила тока - всего 0,3 мА. Для постоянного тока – допустимое напряжение прикосновения всего-то 8В, при силе тока в 1,0 мА (данные приведены для времени воздействия менее 10 мин в сутки).

Безопасные для человека уровни напряжения электрической сети в доме получают из нашей бытовой осветительной сети напряжением 220 В, используя при этом понижающие трансформаторы, или напрямую – используя для этого аккумуляторные батареи номинальным напряжением 12 и 24 Вольт

Так как используется оборудование с напряжением до 1000 в то применяются следующие СИЗ:

В условиях работы на оборудовании с напряжением, не достигающим 1000 вольт,

- используются: специальные прорезиненные перчатки, выполненные с использованием современным полимеров, которые способны длительное время выдерживать большое напряжение;
- изолирующие штанги, выполненные с использованием диэлектрического металла, которые прикрепляются к источнику электричества

и служат в качестве основного заземлителя, в результате чего обеспечивается безопасная работа;

- специальные клещи, которые могут использоваться в местах, где применение штанги невозможно. С помощью данных клещей также осуществляются ремонтные мероприятия; специальное оборудование с указателями напряжения, для измерения силы и напряжения тока.

- специальное оборудование с указателями напряжения, для измерения силы и напряжения тока

Также используются дополнительные средства защиты:

К материалам, которые применяются в качестве дополнительных устройств с оборудованием при напряжении менее 1000В относятся:

- специальная прорезиненная обувь, выполненная с применением современных полимеров, которая надежно обеспечивает защиту персонала;

- подставки, выполненные из дерева для осуществления работы с оборудованием без использования штатного заземления;

- специальные лестницы, выполненные из не проводимого металла, которые применяются при проведении работы на определенной высоте.

СИЗ в нашем случае не используются, так как работа происходит на ЭВМ с приведенными выше номиналами.

При выполнении мер защиты в электроустановках напряжением до 1 кВ классы применяемого электрооборудования по способу защиты человека от поражения электрическим током по ГОСТ Р 12.1.009-2009 «ССБТ.




Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» [45] следует принимать в соответствии с таблицей 21.

В результате проведенного анализа для предотвращения случаев электротравматизма на рабочем месте, рекомендуется применение электрооборудования класса 0. Помимо этого в качестве дополнительной защиты использовать сетевые фильтры, источники бесперебойного питания, использование закрытых розеток.

Таблица 5.2 – Применение электрооборудования в электроустановках напряжением до 1 кВ

Класс по ГОСТ12.2.00 7.0 РМЭК536	Маркировка	Назначение защиты	Условие применения электрооборудования в электроустановке
Класс 0	-	При косвенном прикосновении	1. Применение в непроводящих помещениях. 2. Питание от вторичной обмотки разделительного трансформатора только одного электроприемника

Продолжение таблицы 5.2

Класс I	Защитный зажим – знак  или буквы РЕ, или желто-зеленые полосы	При косвенном прикосновении	Присоединение заземляющего зажима электрооборудования к защитному проводнику электроустановки
Класс II	Знак 	При косвенном прикосновении	Независимо от мер защиты принятых в электроустановке
Класс III	Знак 	От прямого и косвенного прикосновения	Питание от безопасного разделительного трансформатора

При анализе рабочего места инженера в 16а корпусе ТПУ отклонений от требований, изложенных выше, не выявлено.

5.2.2 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории Ан, Бн, Вн, Гн и Д

Для нашего помещения установлена категория пожарной опасности В. Одна из наиболее важных задач пожарной защиты — защита помещений от разрушений и обеспечение их достаточной прочности в условиях воздействия высоких температур при пожаре. Учитывая высокую стоимость электронного оборудования 16а корпуса, а также категорию его пожарной опасности, здания корпуса и части здания другого назначения, в которых предусмотрено

размещение ЭВМ, должны быть первой и второй степени огнестойкости. [47] Для изготовления строительных конструкций используются, как правило, кирпич, железобетон, стекло, металл и другие негорючие материалы. Применение дерева должно быть ограничено, а в случае использования необходимо пропитывать его огнезащитными составами [47].

Пожары в корпусах ТПУ представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность 16а корпуса ТПУ — небольшие площади помещений. Как известно, пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ, окислителя и источников зажигания. В помещениях корпуса присутствуют все три основных фактора, необходимые для возникновения пожара [47].

Горючими компонентами помещения 16а корпуса являются: строительные материалы для акустической и эстетической отделки помещений, перегородки, двери, полы, перфокарты и перфоленты, изоляция кабелей.

Источниками зажигания в 16а корпусе могут быть короткое замыкание и перегрев ЭВМ, приборы, применяемые для технического обслуживания, устройства электропитания, кондиционирования воздуха, где в результате различных нарушений образуются перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать загорания горючих материалов.

В современных ЭВМ очень высокая плотность размещения элементов электронных схем. В непосредственной близости друг от друга располагаются соединительные провода, кабели. При протекании по ним электрического тока выделяется значительное количество теплоты. При этом возможно оплавление изоляции. Для отвода избыточной теплоты от ЭВМ служат системы вентиляции и кондиционирования воздуха. При постоянном действии эти системы представляют собой дополнительную пожарную опасность.

Разработана инструкция с мероприятиями по обеспечению пожарной безопасности. Такая инструкция ПБ должна быть размещена на каждом рабочем месте.

На рабочем месте запрещается иметь горючие вещества В помещениях запрещается: а) зажигать огонь;

б) включать электрооборудование, если в помещении пахнет газом; в) курить;

г) сушить что-либо на отопительных приборах;

д) закрывать вентиляционные отверстия в электроаппаратуре

Источниками воспламенения являются:

а) искра при разряде статического электричества б) искры от электрооборудования в) искры от удара и трения г) открытое пламя

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию. Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2.

На стене рядом с местом расположения огнетушителя должна находиться таблица с номерами телефонов экстренного вызова местной и городской пожарной команды[47].

Помещение инженера-лаборанта соответствует нормам пожарной безопасности. В качестве дополнительных мер по предотвращению пожаров предлагается использовать автоматизированные системы оповещения и пожаротушения.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) используют для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии. Углекислотные (ОУ-2) и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый огнетушитель, например ОП-5.

План эвакуации людей из лаборатории производственного корпуса в случае ЧС показан на рисунке 5.3.



Рис. 5.3– План эвакуации при пожаре и других ЧС.

5.3 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды - это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

В 16а корпусе в качестве осветительных приборов приняты люминесцентные лампы, должны быть разработаны меры по их утилизации.

Хранение люминесцентных ламп должно осуществляться в помещении, которое отдельно расположено от мастерских и лабораторий корпуса. Оно должно соответствовать требованиям правил хранения токсичных отходов и санитарных норм. В нем должна быть налажена система вентиляции.

Полы в помещении должны быть изготовлены из водонепроницаемого материала, который препятствует попаданию вредного металла в окружающую среду. На случай аварийной ситуации в помещении для хранения ламп дневного света должно быть не менее 10 литров воды и запас марганцевого калия.

Отработанные люминесцентные светильники должны быть помещены в плотную тару. В роли ее могут выступать картонные коробки, коробки из ДСП, фанеры, бумажные или полиэтиленовые мешки. В одной картонной коробке должно быть не более 30 единиц продукции. Емкости должны быть расставлены

на стеллажах, чтобы обезопасить их от любого механического воздействия. На каждой из них должна быть надпись «Отход 1 кл. опасности. Отработанные люминесцентные лампы».

Так же необходимо позаботиться о отдельных контейнерах для отходов бытового характера: отдельные мусорные баки для бумаги, стекла, металлических частей, пластика. Необходимо заключить договор с компанией, вывозящей мусор, чтобы она обеспечивала доставку разделенных отходов фирмам, занимающимся переработкой отходов.

5.4 Защита в ЧС

Производство находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.), в данном городе отсутствуют.

Возможными ЧС на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели на газе (с катализатором). Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. В здании должен храниться трехдневный запас воды на всех сотрудниках.

В случае отсутствия электроэнергии должны быть предусмотрены генераторы энергии (на дизеле), а также генераторы, способные поддерживать стабильное питание сварочного оборудования.

В сильные морозы возможен выход из строя транспорта. В гаражном парке должны находиться запасные автобусы и микроавтобусы. Также для перевозки людей в удаленные районы нужно предусмотреть менее габаритные автомобили, способные работать в сильные морозы.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще.

Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации. [48].

5.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»

2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)

3. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

4. СанПиН 2.2.4.3359–16.Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

5. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

7 ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

8 ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

9 ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

10 ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

11 СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.

12 ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

13 Охрана окружающей среды: Учеб для техн. вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др.; Под ред. С.В. Булова, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

14 Закон «Об обязательном социальном страховании на случай временной нетрудоспособности и в связи с материнством» от 29.12.2006 № 255-ФЗ.

Графические материалы

- 1) Освещенность на рабочем месте рисунок 1.1, 1.2;
- 2) Пути эвакуации рисунок 1.3.

Заключение по разделу

В рамках данного раздела были рассмотрены вопросы соблюдения прав персонала на труд, выполнения требований к безопасности и гигиене труда, к промышленной безопасности, охране окружающей среды и ресурсосбережению, при выполнении работ в 315 аудитории 16а корпуса ТПУ выполняемых лаборантом. На основании данных исследований были проанализированы вредные и опасные производственные факторы, влияющие на лаборантов в процессе их работы, такие как, отклонения микроклимата, неправильное освещение рабочего места, излучения мониторов, производственные шумы,

возможность поражения электрическим током, а также следствие влияния этих факторов на работающего в виде переутомляемости или профессиональных заболеваний, рассмотрено оформление временной нетрудоспособности на предприятии. С учетом этого приведены рекомендации по организации рабочего места оператора, позволяющие повысить производительность труда и свести к минимуму вероятность профессионального заболеваний.

Заключение

В работе исследовали структуру и микротвердость покрытий, полученных с помощью вакуумной электронно-лучевой наплавки мартенситностареющей стали 25X12M12K10H. В качестве исходных компонентов использовали порошки железа марки ПЖРВ2, высокохромистого чугуна (ПГ-С27) как источника углерода, хрома ЭРХ1, кобальта ПК-1У, никеля и молибдена. В вакуумной печи типа СВЛ 2.5-2500 получали спеки из заготовленных смесей. После спекания, осуществляли дробление полученных спеков. Для наплавки использовалась фракция размером 125 - 450 мкм. В результате проведенной работы сделаны следующие выводы.

1. Установлено, что упрочняющее покрытие состоит из зерен со средним размером 16 мкм, по границам которых в виде сетки выделяется легированный аустенит. Сами зерна имеют двухфазную структуру пластинчатой морфологии.

2. Показано, что после старения при температуре 560оС как внутри зерен, так и на месте легированного аустенита выделяется большое количество дисперсных равноосных частиц со средним размером 0,5...0,6 мкм. Сплошная сетка легированного аустенита полностью распадается, и остаются только отдельные выделения аустенита, которые непосредственно после наплавки имели более толстое поперечное сечение.

3. Установлено, что объёмная доля дисперсных частиц в наплавке с увеличением времени старения с 3 до 5 часов увеличивается на 23%. Однако с увеличением времени старения они увеличиваются в размерах (коагулируют). Сам остаточный аустенит по границам зерен в процессе старения превращается в мартенситно-бейнитную смесь, а ранее выпавший мартенсит подвергается отпуску.

4. Одновременное влияние этих факторов приводит к изменению микротвердости в наплавленном покрытии. После старения в течение 3 часов микротвердость покрытия максимальна и составляет $HV = 5922 \pm 405$ МПа. В то время как непосредственно после наплавки микротвердость равна 4644 ± 470

МПа. С увеличением времени старения до 5 часов, микротвердость падает до 5430 ± 400 МПа, что связано с коагуляцией упрочняющих частиц и ростом величины распада первичного мартенсита.

5. Исходя из состава наплавочной смеси (сталь 25X12M12K10H) и анализа диаграмм состояния Mo-Co, Cr-Mo, Co-Cr, Fe-Mo и Fe-Co можно с уверенностью предположить, что в процессе старения выпадают дисперсные фазы на основе интерметаллидов типа MoCo_3 , Fe_2Mo , Ni_3Mo . Для более детального анализа структуры необходимо проводить качественный и количественный рентгеноструктурный анализ покрытий.

Список литературы

1. Стивен У. Мартенситностареющие стали // В сборнике научных статей «Высокопрочные стали». М. :Металлургия, 1969. С. 235-257.
2. Decker, R.F., and Floreen, S., "Intern. Symp. on Maraging Steels, Recent Development and Applications", Phoenix, Arizona (1998)
3. В.С. Павлов / Статья «Мет-Алл.орг» / <http://met-all.org/stal/martensit-martensitnoe-prevrashhenie-stali.html>. Доступ свободный, дата обращения 20.02.2020
4. Махнев Е.С. Способ термической обработки нержавеющей мартенситно-стареющей стали // Авт. свидетельство № 333204. 1972. Бюл. № 11.
5. Потак Я.М. Высокопрочные стали. М. : Металлургия, 1972. 208 с.
6. Махнева Т.М. Устойчивость аустенита в стали 08X15H5Д2Т // В сб. «Материаловедение и обработка материалов». Ижевск : Изд-во ИПМ УрО РАН, 2005. С. 15-26.
7. Махнев Е.С., Гапека Т.М. Обратное мартенситное превращение в стали ВНС-2УШ // Доклады Междунар. конф. «Мартенситные превращения в металлах и сплавах» «ICOMAT-77» // Киев : Наукова Думка, 1979.С. 180-184
8. A.M. El-Aziz¹, A.M. Fathy, A.M.Hassan¹ and G.I. Yousse/Characterization of Mechanical and Corrosion Behavior of Low-Nickel Cobalt-Free Maraging Steel Alloys/ German University in Cairo, Materials Engineering Department, New Cairo, EgyptCentral of Metallurgical Research and Development Institute (CMRDI), Helwan, Egypt /National Research Centre, Physical Chemistry Department, Dokki, Cairo, Egypt
9. Э.Л. Макаров, Б.Ф. Якушин/ Теория свариваемости сталей и сплавов / издательство МГТУ им. М.И.Баумена. Москва 201
10. Herranz S, Campa F J, Lopez de Lacalle L N, Rivero A, Lamikiz A, Ukar E, Sanchez J A and Bravo U 2005 The milling of airframe components with low rigidity: a general approach to avoid static and dynamic problems Proc. Inst. Mech. Eng. B: J. Eng. Manuf. 789–801

11. Ospennikova O G, Evgenov A G, Nerush S V and Afanasiev-Khodykin A N 2012 Investigation of the fine nickel-based soldering powders as applied to the high-tech semi-finished product in the form of a self-adhesive tape on an organic binder Bull. of UGATU 5(50)
12. Nerush S V, Evgenov A G, Ermolaev A S and Rogalev A M 2013 Investigation of the fine metal powder of the heat-resistant nickel-based alloy for the laser LMD melting Materials Sci. Questions 4(76)
13. Evgenov A G, Nerush S V and Vasilenko S A 2014 Production and testing of the fine metal powder of the nickel-based high chromium alloy with reference to the laser LMD melting VIAM Proceedings 5
14. Lewis G, Cremers D, Cotton J, Milewski J and Preston D Laboratory directed research and development program annual reports for FY92, FY93, FY94. The rapid formation of unique structural components by fusing airborne powders in a laser beam (Los Alamos National Laboratory, Los Alamos New Mexico) 97545
15. Lewis G K, Nemec R B, Milewski J O, Thoma D L, Barbe M R and Cremers D A 1994 Directed light fabrication Proceedings of the ICALEO '94 (Orlando, Florida: Laser Institute of America) 17
16. Griffith M L et al 1996 Free form fabrication of metallic components using laser engineered net shaping (LENS) Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium (Austin, TX) 12– 14 Aug 125
17. Oskolkov A A, Matveev E V, Bezukladnikov I I, Trushnikov D N and Krotova E L 2018 Advanced technologies of the additive production of the metal products Bull. of PNIPU Mechanical Engineering Material Sci. 20(3) 90–105
18. A E Balanovsky, S A Osipov, A K Shmakov Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia/ Research of surface quality of structural components made using additive technology of electric arc welding
19. Электронный луч в формировании неравновесных структур: монография /С.Ф. Гнусов, В.Г. Дураков. – г. Томск., Издательство ТПУ, 2012 – 115с.

20. Гнусов С.Ф, Дураков В.Г. и др. Особенности технологии наплавки и подготовки композиционных наплавочных смесей Ч.2. // Сварочное производство. 2007 – №12. – 12–15с.
21. Белюк С.И, Самарцев В.П, Рау А.Г. / Электронно-лучевая наплавка в черной металлургии // Физическая мезомеханика. 2006 – №9. – 157-160с.
22. С.И. Белюк, И.В. Осипов, Н.Г. Ремпе. / Промышленное применение электронных источников с плазменным эмиттером. Известия Высших учебных заведений. // Физика, 2001, т.44, №9, с. 77-84.
23. С.Ю. Корнилов, И.В Осипов, А.Г.Рау, Н.Г. Ремпе. / Оборудования для электронно-лучевых технологических процессов. // Приборы. 2007. №6 (84), с. 8-12
24. М.И.Виноградов, Ю.П.Маишев / Вакуумные процессы и оборудование ионно- и электронно-лучевой технологии // Москва «машиностроение» 1989 / электронный ресурс <https://bookree.org/reader?file=407550&pg=4> доступ свободный, дата обращения 22.09.2019.
25. Казаков Ю. Ф. / Концентрированные потоки энергии и физические основы их генерации. // учебное пособие. – Саратов, 2001. – 100 с.
26. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г., Прибытков Г.А., Ремпе Н.Г. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство. - 2000. - №2. - С. 34-38
27. С.А. Салтыков / Стереометрическая металлография. // «Металлургия», 1970. – 376 с.
28. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т./ Под общ. Ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996
29. С.З. Бокштейн / Строение и свойства металлических сплавов// Москва : Металлургия, 1971 – 496с.
30. Smugeresky J E, Keicher D M, Romero J A, Griffith M L and Harwell L D 1997 Laser engineered net shaping (LENSTM) process optimization of surface

finish and microstructural properties Proceedings of the World Congress on Powder Metallurgy and Particulate Materials (Chicago, IL) June

31. Формирование покрытий двойного назначения методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки / И.М. Полетика, М.Г. Голковский, М.В. Перовская, Т.А. Крылова, Р.А. Салимов // Физическая мезомеханика. – 2006. – №9. Спецвып. – С. 177–180.

32. Phase constituents and microstructure of laser synthesized TiB₂–TiC reinforced composite coating on steel / B. Du, S.R. Paitala, N.B. Dahotre // Scripta Materialia. – 2008. – Vol. 59. – P. 1147–1150.

33. 31 Влияние исходного состояния на неоднородность структуры углеродистых сталей, упрочненных методом вневакуумной электроннолучевой обработки / Е. А. Батаева, И. А. Батаев, В. Г. Буров, Л. И. Тушинский, М. Г. Голковский // МиТОМ. – 2009. – №3. – С. 3–8.

34. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: метод. указания / Том. пол-й. ун-т. – Томск 2014. – 73 с

35. Экономические расчеты в дипломных проектах по техническим специальностям: Метод. указания для студентов / Сост.: Л.И. Горчакова, М.В. Лопатин. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. - 28 с.118

36. Политика доходов и заработной платы. Под ред. П. В. Савченко и Ю. П. Кокина. М.: Юристъ, 2000. 456 с.

37. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.»

38. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года)

39. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности

40. СанПиН 2.2.4.3359–16.Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

41. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95

42. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Рекомендовано в качестве практикума Редакционно-издательским советом Томского политехнического университета. – Томск Издательство Томского политехнического университета 2009 – 101с.

43. ГОСТ Р 2.2.2006–05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

44. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны

45. ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

46. ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

47. СанПиН 2.2.4.1191-03 Электромагнитные поля в производственных условиях.

48. ППБ 01-03. Правила пожарной безопасности в Российской Федерации.

49. Охрана окружающей среды: Учеб для техн. вузов / С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др.; Под ред. С.В. Булова, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.

Приложение А

2. Materials and equipment for research.

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ81	Зубков Максим Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор ОЭИ	Гнюсов Сергей Федорович	д.т.н., профессор		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИЯ	Марцева Татьяна Александровна	к.филол.н.		

Introduction

Today, a huge role is assigned to strengthening the surface of mechanisms and machines, since about 50% of the failures of these load-bearing parts are assigned to wear.

Currently, composite materials with a high initial hardness are used as surfacing materials, which are only subjected to grinding after being coated. However, a number of parts require mechanical and subsequent heat treatment after surfacing. This is possible when coating after surfacing has an average level of hardness and, therefore, can be mechanically processed.

Based on these requirements, the most promising coatings are made from martensitic-aging steels with an average level of hardness after surfacing ~4 GPa, and after aging ~6 GPa. These coatings are also some of the most promising materials for creating modern high-strength, corrosion-resistant products that work in conditions of high and ultra-low temperatures, at high pressures, due to specific strengthening mechanism, high strength and manufacturability of such materials.

The purpose of this work is to study the structure of the coating immediately after electron-beam surfacing in vacuum and subsequent aging, and its effect on the level of microhardness.

Therefore, what is martensitic-aging steel?

Martensitic aging steels.

Martensitic-aging steels are alloys with Nickel, cobalt and other carbide-forming elements that give the steel a high complex of performance properties after appropriate heat treatment. In fact, these materials can hardly be called steels, because they usually contain less than 0.03% carbon, and as you know, steel is an iron alloy with a higher carbon content, which provides high structural strength of the product.

In of martensitic-aging steels, structural strength is provided by martensitic transformation, which is accompanied by phase hardening and by the formation of

stable and metastable phases such as Fe₂Mo, Ni₃Ti, NiAl, etc. Typically, martensitic aging alloys are alloyed with Al, Mo, Co, and Ti.

Along with high strength, these steels have high plasticity properties and high resistance to brittle fracture. This is due to the fact that martensite is quite plastic after quenching due to the lack of a large amount of carbon.

On the whole, martensic-aging steel does not contain carbon in its composition. However, some representatives of this class may have a hardness of 66-68 HRC (up to 70 or slightly more). How can this be? And here the principle of strengthening is encoded in the name itself. Maraging steels have the 3 main mechanism of hardening:

1. Solid solution hardening. These steels are highly alloyed (often the total content of alloying elements is more than 50%), so the contribution of solid-solution hardening is very significant.

2. . Hardening by martensitic transformation. As the name implies, steel has a martensitic matrix. However, in contrast to “classic” steels, martensite in this case is practically carbon-free and is formed as a result of alloying with replacement elements, rather than introduction (as in the case of Fe-C). Such martensite (fixed after quenching or TMO) has a block structure, a relatively low hardness (HRC 26-50) and a fairly high plasticity (typically about 60-70%), that is, a bit similar to the martensite of carbon steels. However, it is martensite with a high density of defects, which causes high hardening.

3. In the process of aging (in fact, from the point of view of the theory of heat treatment - tempering), particles (at the stage of maximum hardening of not quite yet particles) of intermetallic compounds are released. These compounds are formed by metals among themselves. Their type, morphology and distribution depend on the composition of the steel and the mode, but for all steels there are common patterns: the discharge has a size of about tens of angstroms, the discharge density is high and up to a certain stage of the discharge remains coherent with the martensitic matrix. This causes a very high hardening, so the increase in hardness can reach up to 35 HRC against 10-12 HRC for secondary hardening steels with carbide hardening

In our study, we consider the mechanism of hardening-aging, after surfacing martensitic steel on a steel substrate

The most noticeable is the effect of hardening due to aging of doped martensite substitution when heating a pre-hardened (or hardened and deformed) alloy at 400-650 °C due to the development of processes of decomposition of a supersaturated solid solution and the formation of highly dispersed evenly distributed particles of intermetallic phases coherently connected to the matrix.

We emphasize that in the steels under consideration, the solid solution disintegrates in a matrix with a high dislocation density. This facilitates the conditions of heterogeneous nucleation of the hardening phases, and promotes the decomposition of a supersaturated solid solution. The use of plastic deformation after quenching increases the strength properties of martensitic-aging steels after aging, while the plastic properties decrease slightly.

The processes of hardening Maraging steels are satisfactorily described by the model proposed by Ansel, whereby at small length of free run of passing of dislocations between particles due to the formation of dislocation loops around particles, so the effective free path length of dislocations decreases sharply; then the resistance to plastic deformation will depend not only on the average distance between the particles and the strength of the particles themselves, since in the deformation process they are cut by dislocations.

Thus, the high strength of martensitic-aging steels is due not only to the dispersion and uniform distribution of the second phase particles, but also to their own high strength. Martensitic aging steels are characterized by stage-by-stage kinetics of aging processes. At the first stage, when intense hardening is observed, the migration of atoms of alloying elements to dislocations occurs together with the formation of submicroblasts (clusters) enriched with atoms of alloying elements. The growth processes of two-dimensional embryos of a new phase (intermetallides) in the third dimension corresponds to the transition to the second stage. Here there is a further, but not such intensive increase in strength characteristics. When growing particles reach a certain critical size, their coherent connection with the matrix is disrupted, particle

coagulation begins, and dislocation density decreases. All this leads to softening (stage III). Softening processes are caused by:

- 1) violation of the coherent connection of released intermetallic particles with a-solid solution;
- 2) coagulation of intermetallic particles;
- 3) partial dissolution of previously released particles of the second phase;
- 4) reduction of dislocation density, the appearance of a polygonal substructure;
- 5) recrystallization of a-solid solution;
- 6) formation of austenite in the structure during the reverse $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation.

The role of each of these processes in the softening is determined primarily by the temperature range of the transformation of $\alpha \rightarrow \gamma$ and the change in the solubility of intermetallides in the α - and γ -phases with temperature. In martensitic-aging steels containing 8-10 % Ni, the softening during heating (550-600 °C) should be mainly associated with the coagulation of intermetallides and their dissolution. The formation of austenite at the specified Ni content occurs above 600-650 °C, when the alloy is already in the softened state. In steels with a high Ni content (16-20 %), the softening is determined by the formation of the γ -phase. The reverse transformation $\alpha \rightarrow \gamma$ can have two important consequences:

- 1) the low temperature at the beginning of austenite formation narrows the possible aging interval of martensite and thus limits the achievement of the maximum possible mechanical properties;
- 2) the resulting reverse transition of the γ -phase is so stable that sometimes it does not turn into martensite even when cooling below T . This reduces the strength of the steel.

Metal surfacing is used to restore the geometry of worn parts of machines and mechanisms, form reinforcing layers of metal on the surface of products and create bimetallic structures. At its core, surfacing is a type of welding technology, because it is based on the same physical and technological principles as traditional types of welding. To restore and protect the surfaces of parts using a layer of molten metal,

various methods of surfacing are used. They differ from each other by melting methods and the composition of the welding medium: electric arc, gas-flame, plasma, laser, induction, etc. Using this technology, metals of various chemical compositions, including copper, bronze, cast iron, as well as Nickel, cobalt and chrome alloys can be deposited on the working surfaces of steel structures.

In this research work we used vacuum electron beam welding.

The essence of electron-beam surfacing consists in heating the material and the surface of the part with a flow of electrons, which provides a highly concentrated investment of energy in the heated surface. The small volume of the processed metal and the short duration of the thermal effect provide a slight deformation of the restored part. In this case, the thickness of the deposited layer can be from a few tenths of a millimeter to 1.0-1.5 mm per side.

Powders with a dispersion of 100...350 microns are suitable for ELN in vacuum. When the dispersion is less than 100 microns, the powders are not sufficiently loose in a vacuum, they are scattered under the influence of bath vapors, and therefore it is difficult to ensure their supply directly to the melt bath. To melt powders larger than 350 microns requires more energy, which leads to additional melting of the base metal, an increase in residual stresses and grain growth in the coating.

The process of surfacing composite coatings based on titanium diborides (borides), synthesized in the process of electron-beam surfacing from thermosetting powders, contributed to the additional release of heat in the melting zone due to exothermic reaction between the components of the mixture. This contributed to the formation of coatings with a more uniform structure, as well as a layered structure with a predominant content of phase components in the depth of the layer. The near-surface coating zone consists of particles that have a pronounced crystallographic cut, bordered by thin layers of eutectic. Research has shown that both at abrasive wear and at wear in friction pairs, wear resistance correlates with the aggregate hardness of structural components and depends on the volume fraction of refractory compounds in the surface area of the coating, their morphology and properties of the metal

matrix. A coating based on titanium carbonitrides was also deposited to strengthen the rolling rolls of seals. In the process of working out the technology of electron-beam surfacing, optimization of technological modes and compositions of coatings was carried out.

The optimal content of titanium carbonitrides in the bundle is determined, at which the coating has a minimum coefficient of friction and wear intensity. The obtained research results were used for strengthening the teeth of excavator buckets and rolling seals, the service life of which increased by 3...4 times.

2. Materials and equipment for research.

2.1 technological equipment for coating

Electron-beam surfacing of coatings was carried out on a special installation (figure. 2.1), developed on the basis of industrial welding electron beam equipment.

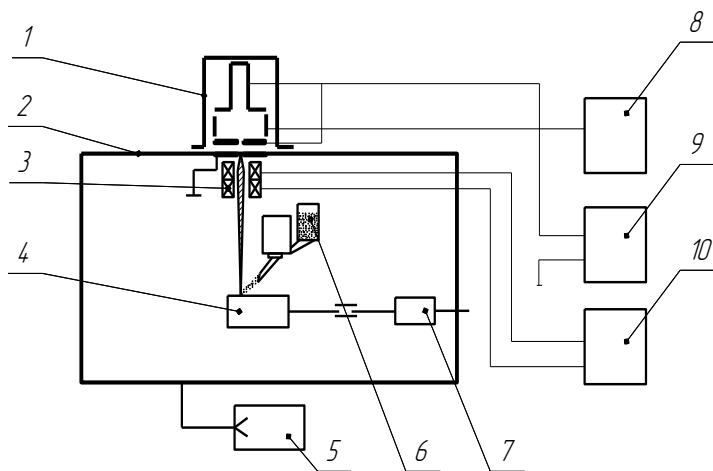


Fig. 2.1 Functional diagram of the electron-beam surfacing installation:

1-electron gun with plasma cathode; 2-vacuum chamber; 3-beam focusing and scanning coils; 4-surfaced part; 5-vacuum station; 6-powder feeder; 7 - a manipulator; 8-discharge power supply; 9-high-voltage unit; 10-beam focusing and scanning control unit

Table 2. Technological modes of electron-beam surfacing

Electron beam current I, mA	Accelerating voltage U, kV	Surfacing speed V, mm/sec	The feed rate of the powder V, g/min	Residual pressure in the float chamber P, Pa	Power density P, w/cm ²	Time of receiving	The exit time differential switch to mode t, мс
30-40	26	3	30-40	1×10^{-2}	$10^3 - 10^4$	15	60

The special feature of the installation is that it is equipped with an electron gun with a plasma cathode. The use of such an electron source allows to dramatically increase its resource and conduct surfacing in a technical vacuum ($P < 5 \times 10^{-1}$ Pa). The unit is additionally equipped with a powder feed system to the melt zone consisting of a powder feeder-dispenser with a hopper and a powder feeder control unit. The coating is deposited by feeding the deposited powder into a liquid metal bath that occurs on the surface of the deposited part under the action of an electron beam. The coating is formed by combining the transverse vibrations of the electron beam and the longitudinal movement of the part relative to the electron gun and the powder feeder. The use of special manipulators makes it possible to apply coatings on cylindrical surfaces up to 400 mm in diameter, rings, disks and flat surfaces up to 700 mm in size, as well as on curved surfaces.

Technological modes of electron-beam surfacing are presented in table 2.1. as the base metal (substrate), plates made of Steel 20 with a size of 20×250 mm and a thickness of 30 mm were used. Rollers with a thickness of 4 ... 5 mm and a width of 20 mm were formed in 9 passes.

2.2 applied surfacing materials

In this work, iron powders of the PZHRV2 brand were used as raw materials for surfacing martensitic aging steel 25X12M12K10N (EP928) (C-0,01-0,03, P<0,015, Si<0,03, S<0,01, Mn<0,08, O₂<0,2 bulk density 1,75...1,85 g/cm³, size 450

micrometres. The iron powder brand ПЖРВ2 (C-0,01-0,03, P<0,015, Si<0,03, S<0,01, Mn<0,08, O₂<0,2 bulk density 1,75...1,85 g/cm³ size 450 micrometres Powder of high-chromium cast iron (ПГ-C27) as a carbon source: C- 3.3-4.5. Cr – 25-28, Ni – 1.55..2.0, W – 0.2...0.4, Si – 1...2, Mn – 0.8...1.5, Mo – 0.08...0.15. Chrome ЭРХ1. Cobalt ПК-1У. The Nickel powder. Molybdenum powder.

Obtaining lists from the prepared mixtures was carried out in a vacuum furnace type СВЛ 2.5-2500 at a temperature of 1050°C. The holding time at the sintering temperature was 60 minutes.

After sintering, the resulting sinters were crushed on a mechanical press and the resulting powder was sieved into fractions. A fraction of 125 - 450 microns was used for surfacing. The sequence of technological operations for obtaining composite powders is shown in figure 2.2.

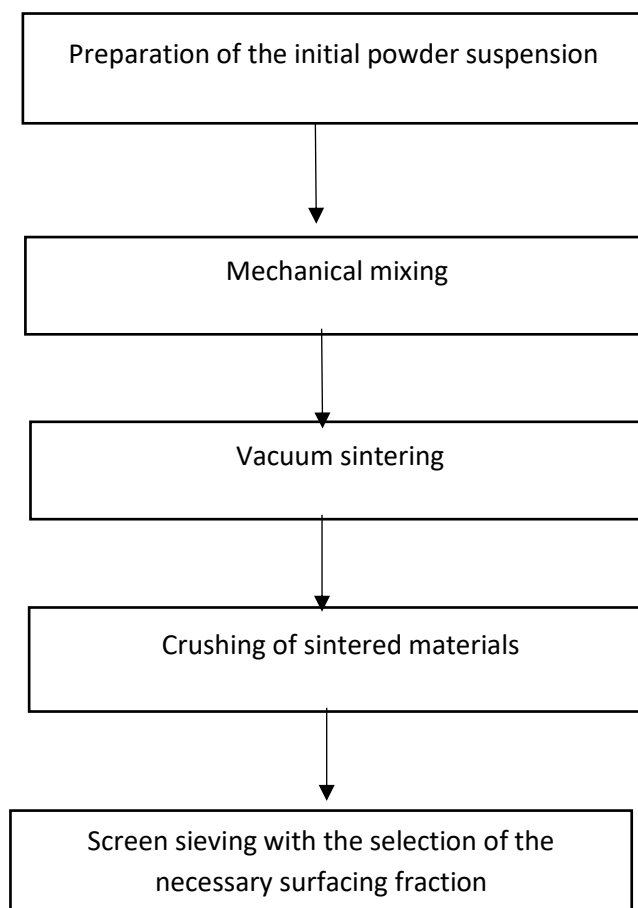


Figure. 2.2. The sequence of technological operations during the production of composite powders

Aging of samples after surfacing was carried out in an air resistance furnace at temperatures (TC) of $560 \pm 10^\circ\text{C}$ for three (batch 972) and five (batch 974) hours, followed by cooling in still air.

2.3 Structural-phase analysis of the studied coatings

The structure of the surfaced coatings on cross-section microslips was studied using an OLYMPUS GX51 optical microscope with a set of SIAMS 700 application programs.

In the present work we apply the method of preparation of micro-sections of the traditional mechanical polishing and mechanical polishing on diamond pastes with different dispersion. Chemical etching of coatings was performed in 4% alcohol solution HNO_3 . Quantitative characteristics of the microstructure were determined using the planimetric method Of M. Deless

The essence of the planimetric method for determining the structural bulk composition of the M. Deless alloy is reduced to measuring the total cross-section area of microparticles of a given structural component (or phase) on a certain area of the metallographic strip, by various methods, such as weighing, superimposing reference figures, etc. Let's consider a method for calculating the total cross-section area of microparticles inside a square (figure 2.3).

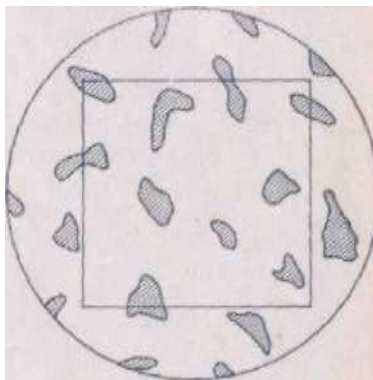


Figure 2.3 - Scheme for calculating the total cross-section area of microparticles inside a square contour

In cases where the measured cross-sections of microparticles have a shape close to a circle (non-metallic inclusions on the cross-section, pre-eutectoid carbides, graphite of high-strength cast iron, etc.), sum up the areas of only those sections whose centers are located inside the perimeter of the square. Sections whose centers lie outside the square are not taken into account, even if they are partially located inside the perimeter of the square.

In our work, we identified 10 square contours on each image of the microstructure and calculated the number of dispersed particles and their average size in each of them. Then we found the average number of particles for all 10 squares, Fig. 2.4.



Figure 2.4 - Microstructure of hardfacing after aging (5 hours). Example of drawing square polygons

In other forms of cross-sections of microparticles, we proceed from the position of probability theory that a straight line that intersects a large number of flat shapes located randomly divides their areas into two equal halves on average, i.e. the total area of the figures crossed by a straight line will be the same on both sides of the straight line. In addition, a right angle whose vertex falls on the area of a flat shape cuts off, on average, one-fourth of the area from it. Therefore, by measuring separately the area of all cross sections of microparticles completely or partially trapped inside the outline of

a square sum of square section that is completely inside the perimeter of the square, half the size of those sections that intersected this perimeter, and the fourth part of the square section appeared at the top of the square.

To determine the volume fraction of the structural component in the alloy, the total cross-section area of the microparticles of the structural component inside the square is divided by the area of the square itself. This operation is repeated in a number of sections of the shelf to obtain an assessment that characterizes its structure as a whole.

2.4 The Measurement of microhardness

Microhardness in the thickness of the deposited layer was measured on cross-sections on the device ПМТ-3 (ГОСТ 9450-76) with a depth step of 100 microns at a load of 0.981 N. Measurements were made in the form of two parallel tracks with the offset of indenter pricks between the tracks of 50 microns. The distance between the tracks was 200 microns. This allowed us to plot the microhardness change in thickness in increments of 50 microns.